www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

10e JAARGANG No. 11, blz. 325-352 NOVEMBER 1948

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN EXPERIMENTELE ZEND- EN ONTVANGINSTALLATIE VOOR SNELLE FACSIMILE-OVERDRACHT

V. SYNCHRONISATIE VAN ZENDER EN ONTVANGER

door D. KLEIS en M. van TOL.

621.397.335

De motoren die de aftasting der beeldvlakken bewerkstelligen in zender en ontvanger van de Philips apparatuur voor snelle facsimile-overdracht, moeten synchroon lopen met een tolerantie van slechts 0,6° in hun relatieve fase. Aan deze eis kan noch met synchroonmotoren noch met de voor langzame facsimile-systemen veel gebruikte stabilisatie door plaatselijke stemvorkgeneratoren worden voldaan. Een nieuwe synchronisatiemethode moest derhalve worden ontwikkeld. Gebruik werd gemaakt van een regelinrichting die reageert op fase-afwijkingen tussen de motoren in zender en ontvanger, gecombineerd met een soortgelijke regeling die aanspreekt op toerental-verschillen tussen de beide motoren. De regelingen worden bestuurd met behulp van impulsvormige synchronisatiesignalen, die de optische rotor in de zender produceert en die met het facsimile-signaal mee naar de ontvanger worden gezonden, en met behulp van impulsen die een generatortje opwekt dat aan de as van de ontvangermotor is gekoppeld. Bovendien is in de zender een inrichting aangebracht die het toerental van de zendermotor stabiliseert, zodat de synchronisatie slechts voor kleine zendervariaties behoeft te corrigeren. Met deze methode kon de nodige faseconstantheid worden bereikt, terwijl tevens kon worden gezorgd dat na een storing het evenwicht aperiodiek wordt hersteld, met een zo grote traagheid dat de rand van het geschreven beeld geen storende golving vertoont.

Synchronisatie is een begrip dat in alle systemen van beeldoverdracht, zowel in de facsimile-telegrafie als in de televisie, een centrale plaats inneemt. Men heeft aan de zendzijde een beeldvlak waarover een aftastvlekje beweegt, aan de ontvangzijde een beeldvlak waarover een schrijfvlekje loopt. De beide vlakken zijn gelijkvormig en men kan ze op gelijke wijze in oppervlakte-elementjes verdeeld denken. Om het over te brengen beeld zonder geometrische vervorming in de ontvanger te reproduceren, moeten aftastvlek en schrijfvlek „synchroon" lopen, dwz. zich gelijktijdig op overeenkomstige oppervlakte-elementen van de beide beeldvlakken bevinden [1]).

Het aftasten van het beeldvlak geschiedt steeds volgens evenwijdige, aan elkaar sluitende lijnen. We kunnen derhalve de synchronisatievoorwaarde iets concreter zo uitdrukken, dat aftastvlek en schrijfvlek telkens gelijktijdig met het doorlopen van een lijn moeten beginnen en hier even lang over moeten doen. Begint de schrijfvlek soms te vroeg en soms te laat, dan krijgt men een beeld waarin de lijnen individuele verschuivingen in hun eigen richting vertonen; zie *fig. 1*. Het is niet nodig (en niet mogelijk) zulke verschuivingen geheel en al uit te sluiten, doch de toleranties in dit opzicht zijn tamelijk klein. Bij een beeldformaat van bijv. 20 cm breedte zal men een maximale lijnverschuiving van 1 mm, d.i. $^1/_{200}$ van de lijnlengte, kunnen toelaten. Natuurlijk mag een dergelijke verschuiving niet tussen naburige lijnen optreden; er moet een geleidelijke overgang zijn, zodat de randlijn van het beeld een golving met een niet te kleine periode vertoont. Als normale eis zullen wij aannemen dat deze „golf" een golflengte van minstens 4 cm moet bezitten (fig. 1).

Voor de vele reeds bestaande systemen van facsimile-telegrafie zijn een reeks synchronisatiemethoden uitgewerkt. Geen van deze methoden echter was bruikbaar voor ons nieuwe facsimile-systeem, dat met ongeveer 60 maal zo grote overdrachtssnelheid als de bestaande systemen werkt. Enige eenvoudige kwantitatieve beschouwingen zullen dit duidelijk maken. Hierna zal de synchronisatie-

[1]) Het overgezonden signaal heeft altijd een eindige, zij het zeer korte looptijd, T. Op de keper beschouwd, moet dus de schrijfvlek, waarvan de intensiteit bestuurd wordt door het signaal verkregen van de aftastvlek, de punten van het beeldvlak doorlopen met een vertraging T ten opzichte van de aftastvlek. Het „gelijktijdig" moet dus met een korreltje zout worden opgevat, wat echter voor onze verdere beschouwingen geen enkele consequentie heeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

methode die voor het nieuwe systeem werd ontworpen, in grote trekken worden beschreven.

Voor de bijzonderheden van zender en ontvanger van het snelle Philips facsimile-systeem verwijzen we naar vier vorige artikelen in dit tijdschrift, die in het vervolg met I-IV worden aangehaald[2]).

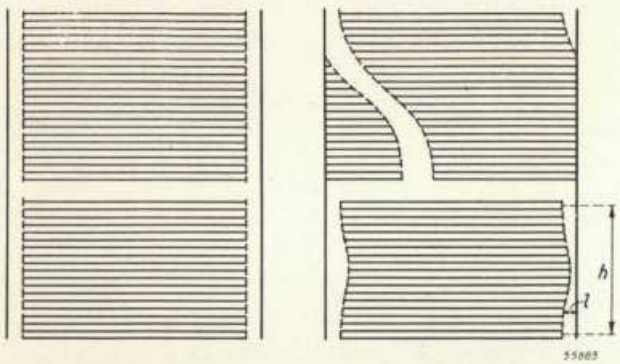


Fig. 1. Schematische voorstelling van de ligging der evenwijdige lijnen, afgetast op het beeldvlak van de zender (links) en geschreven op het beeldvlak van de ontvanger (rechts). De getrokken en gestippelde randlijnen geven de rand van het beeldvlak resp. van het eigenlijke beeld aan. In de tijd, nodig voor het doorlopen van de korte afstand tussen getrokken en gestippelde rand, geeft de zender geen beeldsignaal. *Bovenste helft:* een voorbeeld van onvoldoende synchronisatie. De ontvanger heeft hier een voorsprong, die een tijdlang toeneemt en dan constant blijft. *Onderste helft:* de synchronisatie wordt voldoende geacht indien de verschuiving van de beeldrand (verandering van de afstand l) hoogstens ca $^1/_{200}$ lijnlengte, d.i. ca 1 mm bedraagt, en indien de golving van de rand een golflengte (h) heeft van minstens 4 cm.

Synchroonmotor en stemvorkgenerator

Daar het synchroniseren teruggebracht kan worden tot het produceren van een identieke frequentie aan zend- en ontvangkant, ligt het voor de hand, gebruik te maken van de frequentienormaal die ons in het wisselstroomnet ter beschikking staat. In dat geval laat men de beweging van de aftastvlek en van de schrijfvlek beide bewerkstelligen door synchroonmotoren die uit het net worden gevoed. De methode is uiteraard beperkt tot die gevallen waarin de netten op de plaatsen van zender en ontvanger gekoppeld zijn en derhalve steeds dezelfde frequentie hebben. In zulke gevallen wordt de methode inderdaad met goed succes voor langzame facsimile-systemen toegepast.

Waarom is dit bij ons systeem niet mogelijk?

Bij de langzame facsimile-overdracht worden gewoonlijk ongeveer 3 lijnen per seconde afgetast. De aandrijvende synchroonmotoren, die bij constructie met één poolpaar (wat voor ons het gunstigste is) in Europa met 50, in Amerika met 60 omw/sec moeten lopen, maken dus in de tijd van één lijn ongeveer 20 omwentelingen. Voor een toelaatbare verschuiving van $^1/_{200}$ lijnlengte tussen zender en ontvanger, mag derhalve een faseverschuiving van $20 \cdot 360°/200 = 36°$ tussen de motoren aan zend- en ontvangkant worden toegelaten. De faseverschuivingen tussen de klemspanningen der beide plaatselijke netten, die door wisselingen in de momentele belasting kunnen optreden, zullen in het algemeen behoorlijk beneden de grens van 36° blijven. Heeft men dus de onderlinge fase van de aftast-elementen in zender en ontvanger bij het begin der overdracht goed ingesteld, dan behoeft men geen ontoelaatbare verschuivingen te vrezen.

Bij ons snelle facsimile-systeem worden 180 lijnen per seconde afgetast (zie art. II). Een aandrijvende synchroonmotor zou dus slechts $^1/_3$ omwenteling in de tijd van één lijn maken. De toelaatbare faseverschuiving tussen de motoren aan zend- en ontvangzijde zou dus niet meer dan $^1/_3 \cdot 360°/200 = 0{,}6°$ bedragen. Er kan geen sprake van zijn, dat men op zulk een faseconstantheid van het net zou kunnen rekenen.

Synchroonmotoren komen dus voor ons doel niet in aanmerking — zelfs al zouden we uitgaan van de onderstelling dat gekoppelde netten aan zend- en ontvangzijde ter beschikking staan.

In zeer vele gevallen, vooral bij internationale verbindingen, zal aan deze voorwaarde niet voldaan zijn, en ook reeds voor de langzame facsimile-systemen moesten hiervoor dus andere synchronisatiemethoden worden ontwikkeld. Vrijwel al deze methoden komen er op neer dat men aan zend- en ontvangzijde een trilling met een zeer constante frequentie opwekt, die het toerental van de motor voor de aftastbeweging bestuurt, en dat men de beide frequenties door plaatselijke afstelling van het frequentiebepalende element — bijv. een stemvork — zo nauwkeurig mogelijk gelijk maakt.

Terwijl bij de methode met synchroonmotoren de toerentallen identiek zijn en alleen de storingen door wisselende faseverschuivingen moeten worden beschouwd, moeten we nu letten op de mogelijke kleine frequentieverschillen der plaatselijke stemvorkgeneratoren. Een uiterst klein frequentieverschil zal in iedere periode een nieuwe geringe faseverschuiving der motoren ten gevolge hebben. Na een groot aantal perioden zal deze verschuiving tot een respectabel bedrag opgelopen

---

[2]) Een experimentele zend- en ontvanginstallatie voor snelle facsimile-overdracht.
I. Algemene gegevens, door H. Rinia, D. Kleis en M. van Tol, Philips techn. T. **10**, 225-231, 1948 (No. 8).
II. De bouw van het zendapparaat, door D. Kleis, F. C. W. Slooff en J. M. Unk, Philips techn. T. **10**, 257-264, 1948 (No. 9).
III. De bouw van het ontvangapparaat, door F. C. W. Slooff, M. van Tol en J. M. Unk, Philips techn. T. **10**, 265-272, 1948 (No. 9).
IV. Transmissie der signalen, door D. Kleis en M. van Tol, Philips techn. T. **10**, 289-298, 1948 (No. 10).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zijn. Stel dat de stemvorken met een zodanige frequentie trillen, dat er p perioden in de tijd van één lijn vallen. Een over te brengen beeld moge 30 cm lang zijn, zodat het, bij een lijnbreedte van 0,2 mm, in totaal 1500 lijnen bevat. Elke stemvork maakt dan 1500 p trillingen per beeld. Opdat aan het eind van het beeld de lijnverschuiving nog niet meer zal zijn opgelopen dan tot de toelaatbare waarde van $^1/_{200}$ lijnlengte, mag het aantal trillingen der stemvork hoogstens $p/200$ op $1500p$ mis zijn, dwz. de frequenties mogen geen grotere afwijkingen vertonen dan 1:300 000.

Aan deze eis is met zorgvuldig uitgevoerde stemvorken of andere trillende elementen wel redelijk te voldoen, maar men heeft dan nog pas bereikt dat één beeld goed wordt geschreven. Om te vermijden dat de volgende beelden steeds verder over het beeldvlak verschoven komen te liggen, moet na elk beeld de fase van de aftastbeweging in de ontvanger gecorrigeerd worden. Bij de gebruikelijke langzame facsimile-overbrenging levert het geen bezwaar op, deze correctie bijv. door het bedieningspersoneel te laten uitvoeren. In ons geval echter, waar het overbrengen van één beeld van de genoemde lengte slechts 8 seconden duurt, zou het bedieningspersoneel elke 8 seconden moeten ingrijpen, wat natuurlijk niet in aanmerking komt. Of andersom geredeneerd: ten einde met een ingrijpen van bijv. slechts eens in de 10 minuten te kunnen volstaan, zou een frequentieconstantheid van 1 op $2{\cdot}10^7$ vereist zijn. Dit is zelfs met de beste hulpmiddelen (kwartsoscillatoren in thermostaten) practisch niet te bereiken.

Er zijn nu twee manieren denkbaar om de genoemde bezwaren op te heffen. Volgens de eerste manier neemt men genoegen met een frequentieconstantheid die, zoals boven beschreven, slechts voldoende is voor één beeld of nog minder, en men voegt een mechanisme toe dat automatisch na elk beeld, resp. met de vereiste kortere tussenpozen, de fase van de aftastbeweging van de ontvanger controleert en zonodig een correctie aanbrengt om de fase-afwijking teniet te doen. Volgens de tweede manier laat men het toerental niet door plaatselijke afstemelementen bepalen, die immers toch geen voldoende frequentieconstantheid bezitten, doch men laat het toerental van de ontvangermotor besturen door een frequentie die van de zendermotor is afgeleid en die mèt het beeldsignaal wordt overgezonden.

De synchronisatie in ons facsimile-systeem kan worden beschouwd als een combinatie van deze beide methoden. Uit hetgeen volgt, zal blijken waarom noch met de eerste noch met de tweede methode alléén kan worden volstaan.

Stabilisatie van het toerental van de zendermotor

Heeft men een middel om het toerental van de ontvanger alle eventuele variaties van het toerental van de zender precies te doen volgen, dan is het in principe niet noodzakelijk het zendertoerental in hoge mate constant te houden. Het zal echter wel duidelijk zijn dat men het volgen met de vereiste nauwkeurigheid gemakkelijker zal kunnen verwezenlijken naarmate de voorkomende toerentalvariaties van de zender kleiner zijn. Er zijn daarom in onze facsimile-installatie maatregelen getroffen om het toerental van de zendermotor te stabiliseren. Voor ons betoog is het nuttig eerst deze stabilisatie te beschrijven.

De genoemde motor is een gelijkstroommotor, waarvan het anker wordt gevoed door een eenvoudige (niet gestabiliseerde) netgelijkrichter, terwijl de bekrachtigingsstroom voor de veldwikkeling wordt geleverd door een eindbuis van het type EL6. Het toerental van zulk een motor is bij benadering omgekeerd evenredig met de magnetische inductie in het anker. Men kan derhalve de motor versnellen door de bekrachtigingsstroom te verminderen, en hem vertragen door de bekrachtigingsstroom op te voeren. Voor het normale toerental van 60 omw/sec moet de door de eindbuis te leveren stroom 55 mA bedragen, waarvoor de roosterspanning van de buis ongeveer —8 V moet zijn. Om nu het toerental te stabiliseren, zorgen we dat op het rooster van de eindbuis een spanning komt te staan die positiever wordt wanneer de motor sneller gaat draaien. De resulterende toeneming van de anodestroom, die door de veldwikkeling vloeit, zal dan de toeneming van het toerental tegenwerken.

De regelende spanning op het rooster van de eindbuis wordt als volgt verkregen. Op de as van de motor is een generatortje aangebracht, dat bij het draaien met 60 omw/sec een wisselspanning produceert met een frequentie van (bijv.) 180 per/sec. Deze wisselspanning wordt toegevoerd aan een L-C-kring, die is afgestemd op een frequentie iets hoger dan 180 per/sec, en wel zo, dat de resonantiekromme bij 180 per/sec haar grootste helling heeft; zie *fig. 2*. De amplitude van de kringspanning zal daardoor sterk variëren wanneer de frequentie van de toegevoerde wisselspanning, dwz. het toerental van de motor, slechts weinig verandert. De kringspanning nu wordt gelijkgericht, en de verkregen gelijkspanning, waarvan wordt afgetrokken een constante voorspanning die het instelpunt bepaalt, dient als besturende roosterspanning van de eindbuis. Het principeschema van deze stabilisatieschakeling is weergegeven in *fig. 3*.

Beschouwen we nu de werking van de stabilisatie

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wat nader. Als er een storing optreedt, bijv. een geringe variatie van de ankerspanning of van de belasting van de motor, die de tendentie heeft het toerental te doen veranderen, dan verandert de

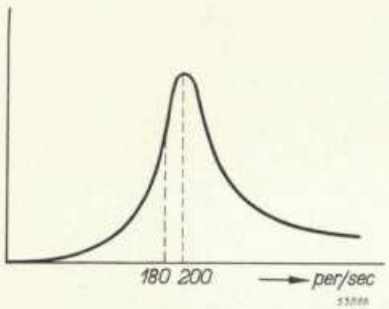


Fig. 2. Resonantiekromme van de afstemkring die wordt gebezigd voor de stabilisatie van het toerental van de zendermotor.

bekrachtigingsstroom zo sterk, dat de invloed van de storing zeer spoedig wordt gecompenseerd. Dit betekent dat het evenwicht, dat behoort bijv. bij een veranderde ankerspanning, reeds wordt verkregen met een uiterst weinig veranderd toerental. Een daadwerkelijke en blijvende kleine verandering van het toerental is echter onmisbaar. Het effect van de stabilisatie is dus alleen dat de voor het nieuwe evenwicht nodige toerentalverandering aanzienlijk gereduceerd is ten opzichte van het geval zonder stabilisatie.

De reductiefactor is bij onze installatie zeer groot gemaakt door de demping van de L-C-kring klein te houden, met name door de dempende invloed van de aangekoppelde gelijkrichter met behulp van een speciale schakeling te beperken (vgl. fig. 6). Hierdoor wordt immers een resonantiekromme verkregen met steile flanken, en de anodestroom van de eindbuis (d.i. de bekrachtigingsstroom van de motor) zal dus, mede dank zij een grote steilheid van deze buis, zeer sterk met het toerental variëren.

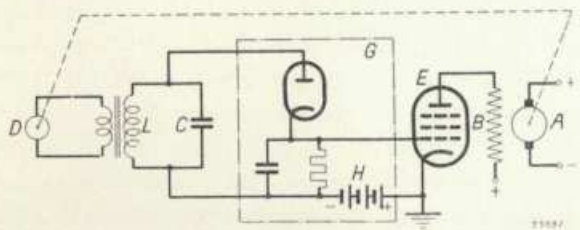


Fig. 3. Principeschema voor de stabilisatie van het toerental van de zendermotor. A anker, gevoed uit een netgelijkrichter; B veldwikkeling, bekrachtigd door de anodestroom der eindpenthode E. Op de motoras is een kleine generator D aangebracht, die een wisselspanning produceert, waarmee de afgestemde L-C-kring tot trillen wordt gebracht. De kringspanning wordt door de gelijkrichtschakeling G gelijkgericht en de verkregen gelijkspanning, die sterk varieert met het toerental van de motor, wordt aan het rooster van de eindbuis toegevoerd. Bij toenemend toerental stijgt de anodestroom van E, en de sterkere bekrachtiging vertraagt het anker. Met de roostervoorspanning H wordt het juiste werkpunt op de karakteristiek van de eindbuis ingesteld.

Voor een storing door variatie van de ankerspanning bedraagt de reductiefactor in ons geval 270. Voor een variatie van de belasting is hij nog groter.

De invloed van een verlopen van de resonantiefrequentie van de L-C-kring daarentegen kan door de stabilisatie niet worden gereduceerd, zoals men gemakkelijk inziet. Men kan dan ook zeggen dat de mate van constantheid van het toerental practisch wordt bepaald door de constantheid van de waarden van L en C van de kring. Voor ons doel kon een verlopen van het toerental over lange tijden met 1% of meer worden toegelaten, zodat aan de kring geen grote zorg behoefde te worden besteed.

Andere punten die bij de stabilisatie van belang zijn, zoals het automatisch aanlopen, de traagheid van de instelling, de mogelijkheid van instabiel worden, enz., moeten we hier onbesproken laten. Alleen zij nog vermeld, dat het nominale toerental gewijzigd kan worden door verwisseling van de condensator in de L-C-kring. Een andere methode waarmee kleine wijzigingen in het nominale toerental kunnen worden aangebracht, zou bestaan in het wijzigen van de bovenvermelde roostervoorspanning van de eindbuis, die van de regelspanning wordt afgetrokken. We zullen straks zien waarom dit van belang is.

Regeling van het toerental van de ontvangermotor

In het ontvangapparaat is in eerste instantie een toerentalstabilisatie aangebracht, die sterk gelijkt op die van de zender. De motor is van hetzelfde type als daar; de bekrachtigingsstroom wordt geleverd door een eindbuis; deze wordt bestuurd door de gelijkgerichte spanning van een trillingskring, die weer wordt aangestoten door een wisselspanning van 180 per/sec, verkregen van een generatortje op de as van de motor. Een roostervoorspanning, afgetrokken van de regelspanning, brengt ook hier de eindbuis in het juiste instelpunt.

Het effect van deze stabilisatie is, dat de invloed van variaties der netspanning enz. op het toerental van de ontvangermotor zeer sterk wordt gereduceerd, evenals we dat bij de zender hebben gezien. Tevens echter kan nu op zeer eenvoudige wijze worden voorzien in de wens, *het toerental van de ontvanger doorlopend door dat van de zender te laten besturen*. Hiertoe zenden we een wisselspanning waarvan de frequentie evenredig is met het toerental van de zendermotor, over de kabel van de zend- naar de ontvangzijde [3]). Deze wisselspanning

[3]) Men zou hiervoor de eerder vermelde spanning van het generatortje op de as van de zendermotor kunnen nemen. In werkelijkheid gebruikt men de „synchronisatiesignalen", die we in art. II en IV reeds hebben leren kennen. In hetgeen volgt, wordt hierop nader ingegaan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wordt hier aan een trillingskring toegevoerd, overeenkomend met die in de zender, en de gelijkgerichte spanning van deze kring wordt gebruikt in plaats van de constante roostervoorspanning van de eindbuis voor de ontvangerstabilisatie. Aan het eind van het vorige hoofdstuk hebben we er al op gewezen dat het nominale toerental bij de beschreven regelmethode kan worden ingesteld door de keuze van deze roostervoorspanning. Welnu, een variatie van het toerental van de zender zal op deze wijze het nominale toerental waarop de ontvangerstabilisatie werkt, mee doen variëren. In *fig. 4* is de schakeling voor deze „synchronisatie" weergegeven.

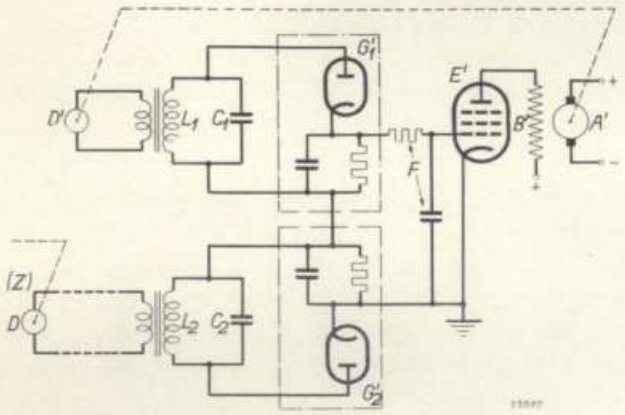


Fig. 4. Principeschema van de toerentalregeling van de ontvangermotor. De regeling berust op een soortgelijke stabilisatie van het toerental als toegepast in de zender (fig. 3): het generatortje D' is hier op de as van het anker A' van de ontvangermotor aangebracht; de opgewekte wisselspanning werkt op de kring L_1-C_1; de door G_1' gelijkgerichte kringspanning bestuurt de eindbuis E' waarvan de anodestroom door de veldwikkeling B' vloeit. In plaats van een constante roostervoorspanning (H in fig. 3) voor de eindbuis wordt echter thans de door G_2' gelijkgerichte spanning van de kring L_2-C_2 gebruikt, welke tot trilling wordt gebracht door een wisselspanning (Z) afgeleid van de rotatie van de zendermotor en overgezonden met het beeldsignaal. F is een afvlakfilter.

Intussen zal de lezer mischien zelf reeds hebben opgemerkt, dat hiermee ons eigenlijke doel nog geenszins is bereikt. De ontvanger volgt nu wel de zender bij een kleine toerentalverandering. Maar bij een storing in de ontvanger zelf, bijv. een netspanningsschommeling, treedt hier een onafhankelijke toerentalverandering op, die voor het nieuwe evenwicht nodig is en die ondanks de grote reductiefactor van de stabilisatie veel groter kan zijn dan toelaatbaar is. Bovendien is de invloed der plaatselijke frequentiebepalende elementen, die hierboven aanleiding gaf om de synchronisatiemethode met stemvorkgeneratoren te verwerpen, allerminst geëlimineerd. Men heeft hier immers geen feitelijke synchronisatie: de regeling trekt er zich niets van aan of de toerentallen in zender en ontvanger werkelijk gelijk zijn, zij doet slechts het toerental van de ontvanger in overeenkomstige mate variëren als dat van de zender. De nominale toerentallen van zender en ontvanger worden nog steeds bepaald door de plaatselijke L-C-kringen, die de nodige frequentieconstantheid van 1 op $2 \cdot 10^7$ niet in de verste verte bezitten, zodat reeds na korte tijd, ook bij afwezigheid van andere storingen, ontoelaatbare faseverschuivingen zouden optreden.

Uitkomst is verkregen langs de andere, al eerder uitgestippelde weg: een automatische, in ons geval continu functionnerende, regeling die rechtstreeks corrigerend op de fase werkt. We gaan nu over tot de beschrijving hiervan. De vraag welke functie de reeds behandelde toerentalregeling dan wel vervult, houden we even in petto.

Regeling van de fase van de ontvangermotor

We hebben vermeld dat op de as van de ontvangermotor een generatortje is aangebracht dat de nodige wisselspanning voor de toerentalstabilisatie levert. Dit generatortje bestaat uit een vaste magneet met een spoel en een draaiend ankertje met drie tanden. De tanden zijn zo gevormd dat bij het passeren van elke tand een impulsvormige spanning aan het spoeltje optreedt. Men krijgt dus 180 impulsen per seconde, als de motor met het nominale toerental van 60 omw/sec draait. Voor de stabilisatie-inrichting (fig. 4) wordt de door een filter uitgezeefde grondfrequentie van 180 per/sec van deze impulsen gebruikt. Voor de thans te beschrijven faseregeling hebben we de impulsen zelf nodig.

Ook de synchroniserende wisselspanning van de zender, die we hierboven vermeldden, bestaat uit impulsen. Deze worden langs optische weg opgewekt door de drie roterende aftastoptieken van de zender (zie art. II): naast de rand van het af te tasten document is een enigszins spiegelend aluminium plaatje aangebracht, dat aan het begin van elke aftastlijn een piek van constante hoogte en lengte in het facsimile-signaal veroorzaakt. Deze impulsen, die behalve voor de synchronisatie ook nog voor het reconstrueren van de zwartheidsschaal van het beeld dienen (zie art. IV), worden mede over de kabel overgebracht; er is aldus geen afzonderlijk kanaal voor de synchronisatiesignalen nodig.

Voor de reeds beschreven toerentalregeling van de ontvanger (fig. 4) wordt ook weer de grondfrequentie van 180 per/sec van de overgezonden impulsen uitgezeefd en gebruikt. Voor de faseregeling daarentegen worden de impulsen met behulp van een eenvoudig netwerk vervormd tot een zaagtandvormige spanning. Bij deze zaagtandspanning wordt de impulsspanning van de ontvangergenerator opgeteld. Hebben beide motoren hetzelfde

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

toerental, dan zal een zuiver periodieke spanning ontstaan van de vorm als in *fig. 5* getekend.

De plaats van de impuls op de „rug" van de zaagtand hangt klaarblijkelijk direct samen met de onderlinge fase van zender en ontvanger. Door

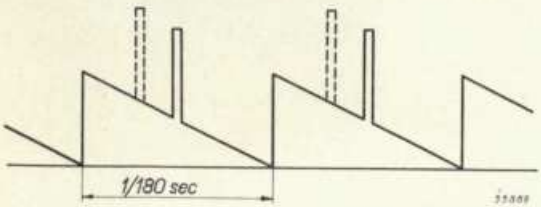


Fig. 5. Zaagtand en periodieke impuls, bij elkaar opgeteld. De zaagtandspanning is afgeleid van de rotatie van de zendermotor, de impulsspanning van die van de ontvangermotor. Lopen de motoren met hetzelfde toerental, dan staat de impuls op een vaste plaats op de „rug" van de zaagtand; deze plaats wordt bepaald door de faserelatie der motoren. Verandert de faserelatie, dan verschuift de impuls op de zaagtand, waardoor zijn top hoger of lager komt te liggen (gestippeld voorbeeld).

geschikte plaatsing van het magneetspoeltje ten opzichte van het ankertje op de as van de ontvangermotor kan men zorgen dat bij de gewenste faserelatie (begin van geschreven lijn in ontvanger aan rand van beeldvlak!) de impuls juist midden tussen de zaagtandsprongen valt.

De spanning volgens fig. 5 voeren we toe aan een gelijkrichtschakeling, die een spanning levert gelijk aan de hoogte van de top boven de gemiddelde waarde. Deze gelijkspanning leggen we, in serie met een instelbare voorspanning, aan het rooster van een eindbuis, waarvan we de anodestroom gebruiken als een bijdrage tot de bekrachtigingsstroom van de ontvangermotor; zie *fig. 6*.

Is nu de ontvangermotor door enigerlei oorzaak in fase achter geraakt bij de zendermotor, dan staat de impuls meer rechts op de zaagtand. Zijn top ligt dus lager, de spanning aan de uitgang van de gelijkrichter is kleiner, en bij geschikt gekozen polariteit zal de spanning op het rooster van de eindbuis meer negatief en derhalve de bekrachtigingsstroom van de motor kleiner zijn. Dit heeft tot gevolg dat de motor sneller gaat lopen, zodat hij de achterstand in fase ten opzichte van de zendermotor gaat inhalen. Zodoende wordt de oorspronkelijke faserelatie tussen zender en ontvanger hersteld.

De evenwichtstoestand wordt mede bepaald door de roostervoorspanning van de regelbuis. Door deze af te stellen kan men dus aan het begin van een uitzending de faserelatie tussen zender en ontvanger in orde brengen. De potentiometer waarmee de roostervoorspanning wordt gevarieerd, is hiertoe met een knop op de frontplaat van de ontvanger uitgevoerd. Hier is ook een meter aangebracht die het faseverschil aangeeft, terwijl bovendien de vorm van de spanning volgens fig. 5 met een kleine kathodestraaloscillograaf kan worden gecontroleerd. Op de foto *fig. 7* is een en ander te zien.

Blijft de oorzaak van een faseverschuiving voortbestaan, dan is — analoog aan wat we bij de eerst beschreven regelingen hebben gezien — een volledig herstel van de fase niet mogelijk. Het effect van een storing wordt alleen gereduceerd, dwz. het nieuwe evenwicht wordt reeds bij een heel geringe verschuiving der fase verkregen. Het blijkt mogelijk, de reductiefactor zo groot te maken dat aan onze eisen wat betreft de faseconstantheid (maximale verschuiving 0,6°) wordt voldaan. Hiertoe moet o.a. de zaagtand steil, dwz. de amplitude van de zaagtandspanning groot worden gemaakt (ca 250 V), zodat reeds kleine faseverschuivingen een aanzienlijke verandering van de hoogte der toppen teweeg brengen.

Opdat de regeling bij elke onderlinge fasesituatie van zender en ontvanger kan werken, moet de top

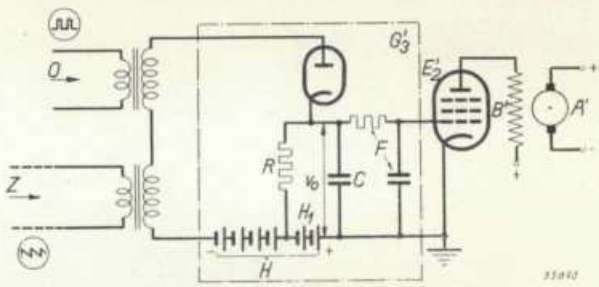


Fig. 6. Principeschema van de faseregeling. Er wordt weer een eindbuis gebruikt (E_2') die een deel van de bekrachtigingsstroom van de veldwikkeling B' van de ontvangermotor levert. De buis wordt bestuurd door de uitgangsspanning van de gelijkrichter G_3', welke spanning evenredig is met het verschil tussen topwaarde en gemiddelde waarde van de ingangswisselspanning. Aan de gelijkrichter wordt als ingangsspanning toegevoerd de spanning, afgebeeld in fig. 5 en samengesteld uit een bijdrage van de ontvanger (O) en een van de zender (Z). De instelbare voorspanning H zorgt dat de spanning v_0 in de juiste fasesituatie de waarde van −8 volt krijgt, die correspondeert met het gewenste werkpunt van de eindbuis.

De gelijkrichtschakeling wijkt enigszins af van het in fig. 3 en 4 getekende eenvoudige geval. Zij heeft het voordeel dat op de weerstand R slechts het verschil staat van de spanning v_0 en het gedeelte H_1 der voorspanning, d.i. in de ongestoorde toestand ca 7 volt, tegenover $v_0 - H$, d.i. bijvoorbeeld 370 volt, bij de normale schakeling. Van het totale variatiegebied (250 volt) van de tophoogte der impulsen wordt zodoende — onafhankelijk van hun ongestoorde plaats op de rug van de zaagtand — voor het regeleffect steeds slechts een gedeelte ter grootte van H_1 (= 15 V) gebruikt, dat juist in de roosterruimte van de eindbuis past. De rimpel van de roosterspanning is in dit geval ook slechts evenredig met de spanning op R in plaats van de tophoogte der impulsen. Daardoor kon de RC-tijd van de gelijkrichtschakeling (en ook van het afvlakfilter F) voldoende klein worden gemaakt om de hieronder te bespreken vertraging der regeling onschadelijk te maken. — Dank zij de verkleining der spanning op R wordt in deze weerstand belangrijk minder energie gedissipeerd dan bij de normale schakeling. Om deze reden wordt het principe der getekende schakeling in werkelijkheid ook toegepast voor de gelijkrichters in fig. 3 en 4. De geringere dissipatie is daar van belang omdat zij een kleinere demping en dus een scherpere resonantiekromme van de voorafgaande L-C kring medebrengt, waarop hierboven reeds werd gewezen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de impuls, wáár hij ook staat, boven de top van de zaagtand uit komen; dus moet de impulshoogte minstens gelijk worden gemaakt aan de sprong van de zaagtand. Impulshoogte en zaagtandsprong moeten natuurlijk nauwkeurig constant blijven, daar hun eventuele variatie de spanning op de gelijkrichter even goed zou doen veranderen als een faseverschuiving. Te dien einde worden de binnenkomende impulsen van zender en ontvanger niet rechtstreeks verwerkt maar eerst op bekende wijze tot een constante hoogte begrensd.

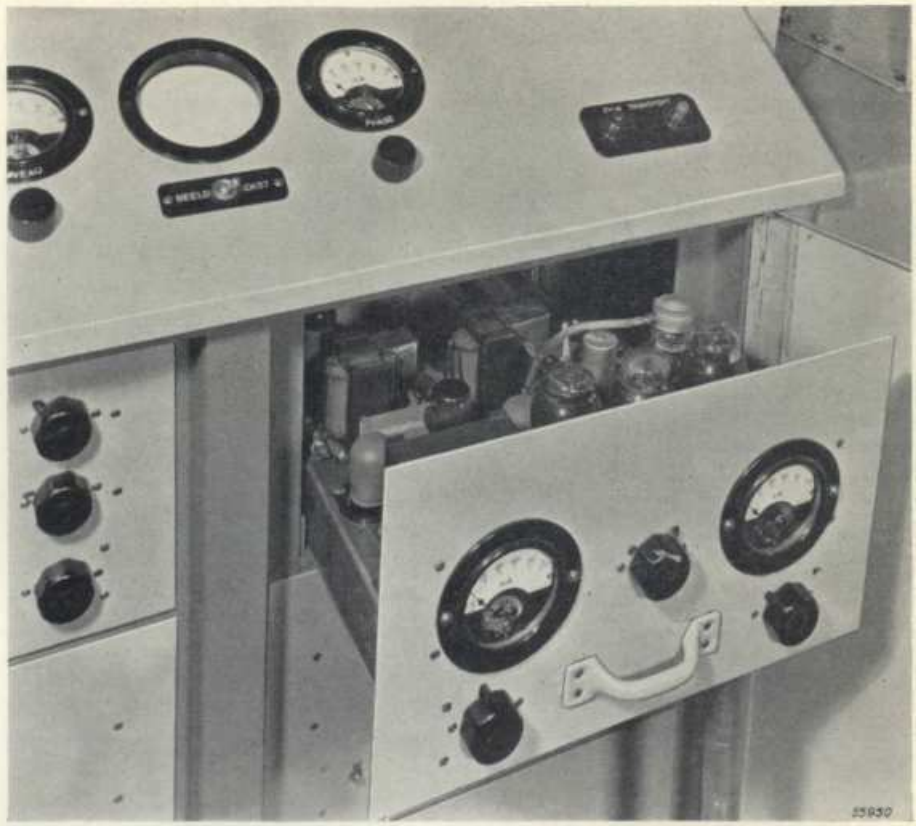


Fig. 7. De synchronisatie-inrichting van het ontvangapparaat is voor het grootste deel ondergebracht op één chassis, dat in de kast van de ontvanger wordt geschoven. Men ziet de meter en de regelknop voor het aflezen en instellen van de faserelatie tussen zender en ontvanger, op de schuine dekplaat van de kast. Links daarnaast het scherm van de kathodestraaloscillograaf, waarop met een schakelaar het oscillogram van de regelspanning voor de faseregeling (fig. 5) zichtbaar kan worden gemaakt. Op de frontplaat van het synchronisatie-chassis ziet men de potentiometerknop en de beide mA-meters waarmee de bijdragen der twee eindbuizen van toerental- en faseregeling tot de bekrachtigingsstroom worden ingesteld (zie bij fig. 8). Dicht achter de frontplaat staan de eindbuizen, met er tussen één der versterkbuizen voor de begrenzing van de impulsen van zender en ontvanger.

Noodzaak van toerentalregeling naast faseregeling

Het is gemakkelijk in te zien dat de regeling van de fase vanzelf meebrengt dat de toerentallen van zender- en ontvangermotor rigoureus aan elkaar gelijk worden. Immers, het kleinste toerentalverschil uit zich als een continu toenemende faseverschuiving. Deze brengt door het steeds verder verschuiven van de impuls op de zaagtand een toenemende afwijking van de bekrachtigingsstroom mede, en bij een constant toerentalverschil wordt dus het corrigerende koppel op de motor toch voortdurend groter. Het toerentalverschil zal dus teniet worden gedaan, en de oorzaak er van kan alleen een verschuiving van het evenwicht naar een iets verschillende faserelatie bewerken, zoals we dat hierboven reeds hebben gezien [4]).

Hier nu is de plaats om ons af te vragen, waarom we dan niet met deze faseregeling alléén kunnen volstaan.

De faseregeling kan slechts effectief worden indien de toerentallen van zender en ontvanger al nagenoeg gelijk zijn. Verschillen de toerentallen veel, dan loopt de impuls in snel tempo over de rug van de zaagtand tot het einde en begint dan zijn wandeling opnieuw aan het andere eind. De gelijkgerichte spanning zou dus in hetzelfde tempo mee moeten rijzen en dalen. Ten gevolge van de afvlakking van de uitgangsspanning van de gelijkrichter komt echter op het rooster van de eindbuis een spanning corresponderend met de gemiddelde tophoogte, en het totale effect van de snelle fasevariaties op het toerental van de motor is dus nihil. (Trouwens, ook zonder de afvlakking zou dit zo zijn, daar snelle variaties van het koppel door de traagheid van het anker onwerkzaam zouden blijven.)

Het onvermogen van de faseregeling om grote toerentalafwijkingen te corrigeren, komt in het bijzonder hierin tot uitdrukking, dat zij bij het aanlopen van de ontvangermotor, deze in het algemeen niet naar het gewenste toerental zal brengen. Dit is nu juist wat de beschreven toerentalregeling doet. De ontvangermotor loopt na het inschakelen aan en tracht in eerste instantie het nominale

[4]) In de terminologie der regeltechniek zou men de faseregeling kunnen aanduiden als een „integraalregeling" van het toerental. Integraalregelingen hebben de eigenschap dat zij de gemiddelde waarde der te regelen grootheid exact gelijk kunnen maken aan een voorgeschreven waarde.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

toerental te bereiken waarop de toerentalstabilisatie is ingesteld. De toerentalregeling door de synchronisatiesignalen corrigeert dit in zoverre dat zij zorgt dat het toerental van de ontvanger in ieder geval dicht in de buurt van het toerental van de zender komt. Dit betekent dat de impuls in fig. 5 steeds langzamer en langzamer over de zaagtand gaat lopen, totdat de faseregeling werkzaam wordt en de impuls in een bepaalde stand „vangt" en vasthoudt. Hierna kan de faserelatie met de hand nog nader worden ingesteld, zoals hierboven is uiteengezet.

Al levert het gemakkelijk aanlopen reeds een voldoende motief om de toerentalregeling naast de faseregeling toe te passen, er is een tweede reden hiervoor, die wij als nog belangrijker zouden willen beschouwen. Om deze reden toe te lichten, moeten we een zijde van het probleem bekijken die we tot nu toe hebben veronachtzaamd, nl. de vraag hoè de regeling verloopt. We hebben het immers bij de bovenstaande beschrijving slechts over evenwichtstoestanden gehad. Hoe wordt na het optreden van een storing een nieuw evenwicht bereikt?

Is de draaiingshoek van de zendermotor ten opzichte van een willekeurige beginstand Φ, dan zal de draaiingshoek van de ontvangermotor ten opzichte van de overeenkomstige beginstand in geval van een storing niet precies gelijk Φ zijn, zeg $\varphi = \Phi + \psi$. Dus ψ is de ongewenste faseafwijking. Op de as van de ontvangermotor werken een aantal koppels. Het normale, bij ongestoord draaien aanwezige, veld levert een aandrijvend koppel M_0. De wrijving geeft een remmend koppel, dat we voor ons doel met voldoende benadering kunnen aangeven door $M_r = a + b\,\dot{\varphi}$, waar a en b constanten zijn. De faseregeling levert een corrigerend koppel M_c, dat tegengesteld is gericht aan de faseverschuiving ψ en dat we voor kleine afwijkingen evenredig met ψ kunnen stellen: $M_c = c\psi$. Analoog levert de toerentalregeling een corrigerend koppel M_d, dat evenredig is met het toerentalverschil $\dot{\varphi} - \dot{\Phi}$, dus: $M_d = d\dot{\psi}$.

Duiden we het traagheidsmoment van het anker en de hieraan gekoppelde optische rotor aan met I, dan geldt voor de draaiing van de ontvangermotor de vergelijking:

$$I\,\ddot{\varphi} - M_0 + (a + b\,\dot{\varphi}) + M_c + M_d = 0.$$

Hierin substitueren we $\varphi = \Phi + \psi$ en stellen $\ddot{\Phi} = 0$, aangezien de zendermotor met constant toerental moge draaien. We hebben dan:

$$I\,\ddot{\psi} - M_0 + a + b\dot{\Phi} + b\dot{\psi} + M_c + M_d = 0.$$

Deze vergelijking moet ook gelden voor de ongestoorde toestand, waarin ψ, $\dot{\psi}$, $\ddot{\psi}$, M_c, M_d alle nul zijn. Hieruit volgt, dat $M_0 = a + b\Phi$, zodat onze vergelijking wordt:

$$I\,\ddot{\psi} + b\dot{\psi} + M_c + M_d = 0 \quad . \; . \; . \; .(1)$$

Laten we nu eerst het effect van de faseregeling alléén beschouwen. De term M_d stellen we dus voorlopig gelijk nul. Substitueren we verder $M_c = c\psi$, dan zien we dat (1) de vorm krijgt van de welbekende vergelijking voor een gedempte harmonische trilling, zonder uitwendige kracht op het trillende systeem. We kunnen hieruit dadelijk concluderen dat de relatieve fase, als er een willekeurige afwijking ψ in is aangebracht en het systeem verder aan zijn lot wordt overgelaten, uiteindelijk naar haar oorspronkelijke waarde ($\psi = 0$) zal terugkeren. De verhouding van de dempingsterm (coëfficient b) tot de andere termen zal bepalen of dit terugkeren oscillerend geschiedt dan wel aperiodiek.

Deze beschouwing is echter nog te onvolledig. Wij moeten er rekening mee houden dat zowel in de faseregeling als in de toerentalregeling een vertragingstijd zit: τ resp. τ_1. Deze is voor een belangrijk deel toe te schrijven aan de RC-tijd van de gelijkrichtschakelingen die de roosterspanning voor de regelbuizen leveren, en van de afvlakfilters, voor een deel ook aan inschakeleffecten, bijv. in de afgestemde kringen, en aan de hysterese van het ijzercircuit van de motor. De vertraging betekent, dat de corrigerende koppels M_c en M_d op het tijdstip t worden bepaald door de fase- resp. toerentalafwijking die een tijd τ resp. τ_1 eerder aanwezig waren. Dus:

$$M_c\,(t) = c\,\psi\,(t-\tau); \qquad M_d\,(t) = d\,\dot{\psi}\,(t-\tau_1).$$

Ontwikkelen we beide uitdrukkingen in reeksen volgens Taylor, dan krijgen wij:

$$M_c\,(t) = c\,[\psi\,(t) - \tau\,\dot{\psi}\,(t) + {}^1\!/_2\,\tau^2\,\ddot{\psi}\,(t) - \ldots],$$

$$M_d\,(t) = d\,[\dot{\psi}\,(t) - \tau_1\,\ddot{\psi}\,(t) + \ldots].$$

Hogere termen van de reeksen kunnen we voor deze kwalitatieve beschouwingen verwaarlozen. Door substitutie van deze uitdrukkingen komt uit verg. (1):

$$(I + {}^1\!/_2\,c\tau^2 - d\tau_1)\,\ddot{\psi} + (b - c\tau + d)\,\dot{\psi} + c\psi = 0 \ldots (2)$$

Door de vertragingseffecten zijn, zoals men ziet, de coëfficienten van de trillingsvergelijking gewijzigd. In het bijzonder constateren we, dat de dempingsterm nu ook negatief kan worden (b, c en d zijn krachtens hun definitie positief), nl. als men c te groot maakt. De faseafwijking ψ zal dan om

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de waarde nul slingeren, maar de slingeringen zullen hoe langer hoe groter worden. Dit verschijnsel kan zich inderdaad in de practijk voordoen en zou de regeling natuurlijk onbruikbaar maken. Het verschijnsel is des te onaangenamer omdat een grote waarde van de coëfficient c, die de „versterking" van de faseregeling aangeeft, gewenst is voor een grote reductiefactor bij deze regeling.

Dit nu is het tweede punt waarop we profijt trekken van de toerentalregeling. Zoals men nl. in verg. (2) ziet, draagt deze het positieve bedrag d tot de coëfficient van de dempingsterm bij. Door d groot te maken, kunnen we dus de demping altijd, ook bij zeer grote waarde van c, positief maken. In het bijzonder kunnen we nu, onafhankelijk van de keuze van c, de demping een zodanige waarde geven, dat een aperiodieke instelling wordt verkregen, hetgeen voor ons doel het gunstigste is. Om dit te vergemakkelijken, hebben we de vertragingstijd τ zo klein mogelijk gehouden, o.a. door een zodanige schakeling van de genoemde gelijkrichtketens dat deze een kleine RC-tijd kunnen krijgen zonder een overmatige rimpel in de afgeleverde gelijkspanning te veroorzaken (vgl. fig. 6). De vertragingstijd τ_1 van de toerentalregeling heeft, zoals uit verg. (2) blijkt, op de demping geen invloed.

Wèl is een grote waarde van τ_1 evenals van d schadelijk voor de traagheidsterm. „Schadelijk", want de aperiodieke instelling op de eindwaarde moet ook voldoende langzaam gebeuren. Immers, in het begin van dit artikel hebben wij vermeld, dat de beeldrand zou mogen verlopen als een golf met een minimum golflengte van 4 cm. Dit betekent dat een faseverschuiving van de maximale waarde eerst na 2 cm beeldlengte, d.i. na ongeveer $^1/_2$ sec, tot verdwijnen (respectievelijk tot de nieuwe eindwaarde) mag worden gebracht. Hiervoor moet de traagheidsterm in verg. (2) voldoende groot worden gemaakt. Aan deze eis kon echter, onafhankelijk van de reductiefactoren en vertragingstijden der beide regelingen, op eenvoudige wijze worden voldaan door het traagheidsmoment I met behulp van een vliegwiel op de motoras te vergroten.

Tot slot geven wij in *fig. 8* een (vereenvoudigd) schema van de gehele synchronisatie-inrichting, waarin is te zien hoe de faseregeling en de toerentalregeling zijn gecombineerd. Elk der regelingen werkt op een afzonderlijke eindbuis, die een bijdrage levert tot de bekrachtigingsstroom van de ontvangermotor [5]). Een weerstand (R_a), parallel aan de eindbuizen, zorgt dat ook bij afgeknepen buizen een zeker veld aanwezig is, waardoor een automatisch aanlopen (met niet overmatig grote ankerstroom) mogelijk

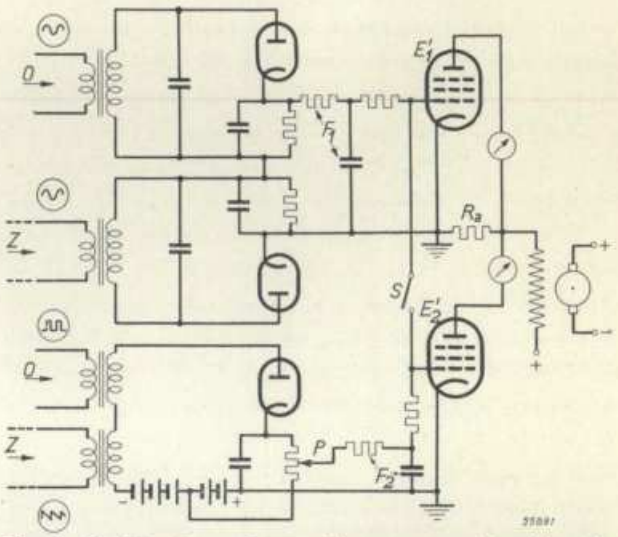


Fig. 8. Combinatie van faseregeling en toerentalregeling. De spanningen O zijn afgeleid van de ontvangermotor, Z van de zendermotor. Met de potentiometer P kan de „versterking" van de faseregeling, waarin men voldoende reserve heeft voor de vereiste gevoeligheid, opzettelijk zover worden verminderd dat het gewenste, de fasevariaties aperiodiek dempende effect der toerentalregeling wordt verkregen. Deze instelling geldt dan alleen voor een bepaalde verhouding van de anodestromen der beide eindbuizen. Deze verhouding geeft men de juiste waarde (in casu de waarde 1) door de roostervoorspanning van E_1', die door de gelijkrichter G_2' (zie fig. 4) wordt geleverd, een weinig te variëren. Dit wordt met behulp van de beide mA-meters in de anodeketens gecontroleerd. Door het sluiten van de schakelaar S worden de invloed van de faseregelspanning en die van de toerentalregelspanning op de twee eindbuizen „gemengd", hetgeen echter voor de werking der synchronisatie-inrichting niet essentieel is. F_1, F_2 = afvlakfilters.

wordt; ook kan hierdoor bij een wegvallen van de regelspanningen de motor niet op hol slaan. De instelling van de gewenste aperiodieke demping der fasevariaties geschiedt niet door keuze van de coëfficient d, d.i. de versterking der dempende toerentalregeling, doch door keuze van c, de versterking der faseregeling, met behulp van de potentiometer P. Dit is gemotiveerd door het feit dat in de synchronisatieschakeling de reserve in de gevoeligheid der faseregeling aanzienlijk groter bleek te zijn dan in die der toerentalregeling.

---

[5]) In werkelijkheid „mengen" wij de beide regelingen, dwz. we gebruiken wel twee regelbuizen maar zetten op het rooster van elke buis een spanning die samengesteld is uit fracties der beide regelspanningen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DE VERLICHTING VAN STEENKOOLMIJNEN IN VERBAND MET HET EXPLOSIEGEVAAR

door G. D. RIECK. 622.476.4:622.81

In steenkoolmijnen kan gas voorkomen dat, met lucht vermengd, ontploffingen veroorzaakt, als het in aanraking komt met een lichaam dat zich op een hoge temperatuur bevindt. Eerst wordt medegedeeld welke maatregelen tegen dit explosiegevaar kunnen worden genomen bij gebruik van olielampen en electrische gloeilampen als lichtbronnen. Vervolgens wordt besproken op welke wijze het explosiegevaar kan ontstaan bij gebruik van fluorescentielampen. Een afdoende beveiliging wordt verkregen bij de toepassing van een schakeling waarbij de fluorescentielamp met koude kathoden wordt ontstoken. Doordat in mijnen de lampen niet dikwijls in- en uitgeschakeld worden, is een merkbare verkorting van de levensduur als gevolg van deze methode van ontsteken niet te duchten.

In de gangen van steenkoolmijnen en vooral aan het kolenfront komt meermalen een zekere hoeveelheid mijngas voor. Dit gas kan, in bepaalde verhouding gemengd met lucht, tot ontvlamming worden gebracht, als het wordt verhit door een lichaam dat zich op een hoge temperatuur bevindt. Daardoor heeft de voor de mijnwerker bij het volbrengen van zijn taak onmisbare lichtbron dikwijls aanleiding gegeven tot explosies met verschrikkelijke gevolgen. De maatregelen die genomen moeten worden tot bescherming van de mijnwerkers tegen dit gevaar, houden verband met de wijze van verlichting die toegepast wordt.

Het gevaar voor ontploffingen was bijzonder groot, toen de arbeiders nog gebruik maakten van een onbeschermde olielamp. Heel belangrijk was daarom de uitvinding van de veiligheidslamp door Davy in 1815. Daarbij is de ruimte waarin de lichtgevende olievlam zich bevindt, door een metalen gaas met fijne mazen afgesloten van de omgeving. Dringt een brandbaar mijngasmengsel tot de vlam door, dan ontbrandt het; maar de hete verbrandingsgassen zijn niet in staat de verbranding door het gaas heen naar buiten voort te planten, naar de omringende, met hetzelfde brandbare gas gevulde ruimte. Het gaas moet een bepaalde maaswijdte hebben (voorgeschreven is maximaal 0,05 cm). Indien hieraan voldaan is, kan het gaas, bij niet te hoge doorstroomsnelheden van de verbrandingsgassen, zelfs tot gloeihitte verwarmd worden, terwijl toch geen ontploffing optreedt. Een voordeel van deze veiligheidslamp is ook, dat de kleur van de vlam de aanwezigheid van mijngas verraadt.

Gloeilampen voor mijnverlichting

Tegen het einde van de vorige en in het begin van deze eeuw is men steeds meer overgegaan tot electrische verlichting van de mijnen. Aanvankelijk werden daar alleen gloeilampen voor gebruikt. Een brandende gloeilamp kan slechts een explosie veroorzaken, wanneer te midden van een atmosfeer die een gevaar opleverend gehalte aan mijngas bevat, een ballon breekt en de draad blijft doorgloeien. De kans hierop — die niet groot is — bestaat voornamelijk in ruimten waar gehakt wordt, bijv. doordat een wegvliegend stuk steenkool een lamp raakt.

Het breken van een ballon, waarbij de gloeidraad, of althans een gedeelte daarvan, blijft gloeien in een ruimte waarin zich ontplofbaar mijngas bevindt, behoeft niet altijd een explosie te veroorzaken [1]). De voorwaarden, waaronder een explosie optreedt resp. vermeden kan worden, zijn onderzocht met een toestel, dat Fripiat heeft ontworpen en dat in *fig. 1* schematisch is voorgesteld. Hiermede is bijv. gebleken, dat men een ontploffing kan vermijden door een dunne gloeidraad te gebruiken [2]). Maar lampen met een dunne gloeidraad zijn gemakkelijk breekbaar en geven uit de aard der zaak niet veel licht. Ook zou men het explosiegevaar kunnen verminderen door de gloeitemperatuur van de draad te verlagen, maar daardoor zou het lichtrendement veel kleiner worden. Dit is vooral bij mijnlampen van klein vermogen, die hun stroom van accumulatoren betrekken, zeer bezwaarlijk. Wil men bij de lichtopwekking een behoorlijk rendement bereiken, dan moet men wel een hoge gloeitemperatuur kiezen en als gloeidraad een metaal met een zeer hoog smeltpunt zoals wolfraam gebruiken. Dit materiaal zal echter, bij een hoge temperatuur aan lucht of lucht-mijngasmengsels blootgesteld, spoedig oxyderen en daarna met een vlamverschijnsel doorbranden. Als het lucht-methaan-mengsel nu niet door de verhitte draad (die op minstens 2000 °C gloeit) aangestoken is, dan zal deze vlam het toch zeker doen ontbranden.

---

[1]) Uitvoerige onderzoekingen zijn hierover o.a. verricht door J. Fripiat. Vgl. Annalen der Mijnen België, **64**, 105-144, 1943.

[2]) Een platinadraad van minder dan 0,1 mm diameter, in een lucht-methaan-mengsel door middel van een electrische stroom tot doorsmelten gebracht, zal het gas niet doen ontvlammen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Ten aanzien van het explosiegevaar moet men onderscheid maken tussen de verplaatsbare, op een accu aangesloten lampen, die de mijnwerkers in de hand meenemen of aan hun hoofddeksel

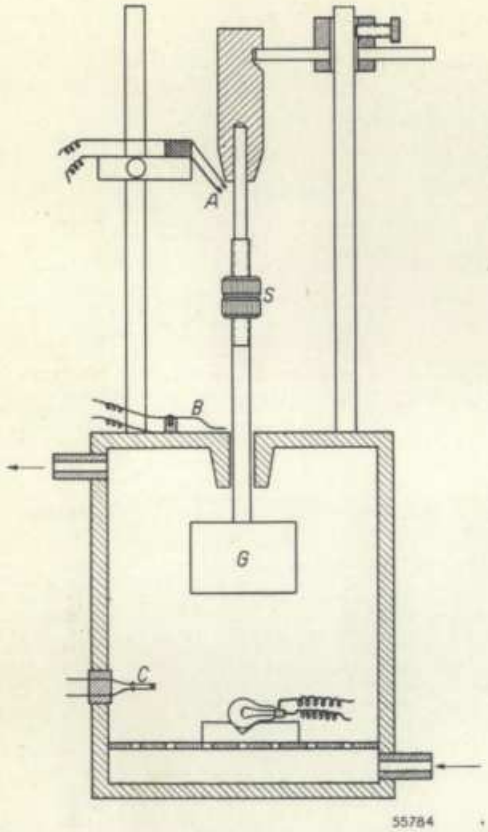


Fig. 1. Schematische voorstelling van een apparaat voor het onderzoek van mijnlampen ten aanzien van het explosiegevaar dat zij opleveren. Een dergelijk toestel werd het eerst door J. Fripiat vervaardigd. Het bestaat uit een metalen explosievat met één wand van papier of cellofaan. Een lucht-methaan-mengsel kan aan de onderzijde het vat binnenstromen en dit weer verlaten door een uitstroomopening aan de bovenzijde. De te onderzoeken lamp wordt op een blokje op de bodem van het vat gelegd. Een metalen gewicht *G* kan men laten vallen om de ballon te verbrijzelen. Vooraf wordt de moer *S* zo ingesteld, dat het filament van de lamp door het vallende gewicht niet wordt vernield. Om het verschijnsel van de ontvlamming, indien deze optreedt, nader te kunnen bestuderen, bevinden zich aan het apparaat verschillende electrische contacten. De vallende hamer sluit bij *A* een contact, dat de horizontale tijdas van een kathodestraaloscillograaf in werking stelt, en bij *B* een contact dat gesloten wordt op het moment waarop de ballon verbrijzeld wordt, waardoor op de oscillograaf een uitwijking in verticale richting wordt veroorzaakt. Het ogenblik van een ontvlamming wordt met een constante vertraging vastgelegd doordat de vlam bij *C* een stukje schietkatoen doet ontbranden, wat ten gevolge heeft, dat het contact tussen twee aan elkaar verbonden verende plaatjes verbroken wordt. In vele gevallen behoeft men van deze registratie-apparaten geen gebruik te maken, nl. wanneer de proef alleen dient om te onderzoeken, of ontbranding al dan niet optreedt.

dragen, en de grotere lampen die als vaste lichtbron aan het net zijn aangesloten. Deze laatste, die meestal in goed geventileerde gangen branden, leveren zo weinig gevaar op, dat in de regel geen bijzondere maatregelen worden getroffen. Bij de eerste wordt als beschermingsvoorzorg gewoonlijk een buitenballon aangebracht (een metalen kooi zou te veel licht wegnemen). Bovendien worden in vele gevallen mechanische beveiligingsinstallaties toegepast, waarbij, als de beschermende buitenballon vernield wordt, de lamp door middel van een zich ontspannende veer uit de fitting wordt geworpen. De mogelijkheid, dat door de gloeidraad nog stroom blijft vloeien, is daarbij volkomen afgesneden. Absolute zekerheid bieden deze beveiligingen echter niet, daar er een — zij het ook geringe — kwade kans blijft bestaan. Het is namelijk mogelijk, dat in de buitenballon en in de ballon van de gloeilamp een flink gat ontstaat, zonder dat het beveiligingsmechanisme in werking treedt, omdat dit alleen op een grotendeels vernielde buitenballon reageert. De wolfraamdraad zou dan op een hoge temperatuur blijven gloeien en een lucht-mijngas-mengsel, dat er mede in contact komt, zou ontvlammen. Deze uitzondering zal zich slechts zeer sporadisch voordoen. Ook bestaat de mogelijkheid, dat het nagloeien van de draad van de uitgeworpen lamp het gasmengsel ontsteekt. In de overgrote meerderheid der gevallen zal het beveiligingsmechanisme echter het explosiegevaar afwenden.

Fluorescentielampen voor mijnverlichting

De laatste tijd wenst men steeds meer over te gaan tot het gebruik van fluorescentielampen (TL-lampen) [3]) voor de verlichting van mijngangen. Men kan deze als vaste verlichting gebruiken, en kleine uitvoeringen kunnen dienst doen als verplaatsbare lichtbronnen. De fluorescentielampen met hun hoog lichtrendement en hun betrekkelijk lage oppervlaktehelderheid hebben bij de mijnverlichting zekere voordelen, omdat de zwarte wanden slechts weinig licht reflecteren en daarom vrij sterke lichtbronnen vragen. Bij het lage helderheidsniveau, dat we in de mijngangen aantreffen, kan een lichtbron met een hoge helderheid gemakkelijk hinderlijke verblinding veroorzaken. Wij zullen er in dit artikel niet op ingaan, of deze voordelen van de TL-lampen opwegen tegen de nadelen zoals grotere afmetingen en hogere kosten van installatie. Ons interesseert hier slechts de vraag, hoe het bij deze lampen staat met het explosiegevaar en welke maatregelen daartegen moeten worden genomen.

De fluorescentielamp heeft een voorschakelapparaat nodig om stabiel te kunnen branden en een automatisch werkende schakelaar voor de ontsteking. Verscheidene typen van deze ontsteekschakelaars (zg. starters) zijn in gebruik: de weer-

[3]) A. A. Kruithof, Buisvormige luminescentielampen voor algemene verlichtingsdoeleinden, Philips techn. T. **6**, 65-73, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stand-bimetaal-, de glimlicht-bimetaal- en de electromagnetische starter [4]). Voor het probleem dat ons bezig houdt doet het er weinig toe van welke starter de fluorescentielamp is voorzien. Om de gedachten te bepalen stellen we ons voor, dat het een glimlicht-bimetaal-starter is. In *fig. 2* is de hierbij behorende normale schakeling weergegeven.

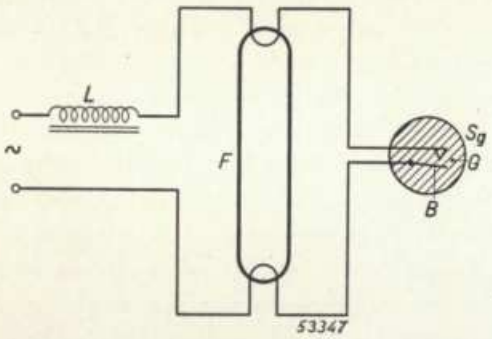


Fig. 2. De normale schakeling van de glimlicht-bimetaalstarter (S_g) van een fluorescentielamp (F). G = gasvulling, waarin een glimontlading kan ontstaan die het bimetaal (B) verwarmt. L = voorschakelsmoorspoel.

Zodra men de netspanning heeft ingeschakeld, ontstaat in de starter een glimontlading, die het bimetaal verwarmt met het gevolg, dat na enige tijd het contact zich sluit. De smoorspoel is dan kortgesloten over de kathoden en de kortsluitstroom verwarmt de kathoden van de lamp. Daar de glimontlading nu gedoofd is, koelt het bimetaal af, zodat het contact open gaat en de kortsluitstroom wordt verbroken. De spanningsstoot die hierbij ontstaat moet nu de lamp met de inmiddels op hoge temperatuur gekomen kathoden ontsteken. Gelukt dit niet, dan herhaalt het proces zich, waarbij de kathoden telkens tot gloeien worden gebracht. Is de lamp eenmaal ontstoken, dan gaat er geen andere stroom meer door de kathoden dan die van de gasontlading. Deze ontlading zorgt ervoor, dat zij op een temperatuur blijven die hoog genoeg is om de lamp te laten branden.

Een ontploffing kan alleen plaatsgrijpen, indien de buis van de fluorescentielamp breekt. Om na te gaan hoe groot in dat geval de kans op explosie is, hebben we TL-lampen waarbij de schakeling van fig. 2 was toegepast, stukgeslagen in een toestel van Fripiat, dat een ontvlambaar lucht-mijngasmengsel bevatte [5]). Ongeveer 1 seconde na het breken van de lamp volgde steeds een ontploffing. Dit is verklaarbaar, als men bedenkt, dat de starter nog steeds na de vernieling van de lamp tevergeefs probeert haar te ontsteken. De kortsluitstroom zal de vrij dikke draden van de kathoden tot gloeien brengen, op een veel hogere temperatuur dan door de normale ontlading gebeurt. De gloeiende kathoden brengen dan vervolgens het gasmengsel tot ontploffing.

Bij een fluorescentielamp moet men ter dege rekenen met de mogelijkheid, dat bij het breken van de glazen buis de electroden intact blijven. De kans daarop is veel groter dan bij de zoveel kleinere gloeilamp, waarbij men bovendien met een tere draad te doen heeft. Om het explosiegevaar te bestrijden past men wel een constructie toe, waarbij een gebroken lamp automatisch uit haar fittingen wordt geworpen, zodat er geen stroom meer door de kathoden kan gaan. Evenals bij gloeilampen heeft echter zulk een constructie ook hier het bezwaar, dat een lamp door een barst in de buis of een scherf die er uit geslagen is, lek kan worden, zonder dat zij wordt uitgeworpen. De lamp is dan wel gedoofd, doch de eerste poging van de starter om haar te ontsteken zal in dit geval het gasmengsel in de buis doen ontvlammen.

De ontvlamming van het gasmengsel in de buis behoeft nog niet noodzakelijkerwijze te leiden tot een ontploffing van het gasmengsel in de omgeving. Bij onze proeven is gebleken, dat een barst in de lamp of een heel klein gaatje (bijv. met een diameter van 0,5 mm) niet voldoende is om de explosie welke in de buis plaats vindt zich naar buiten te doen voortplanten. Men kan dit vergelijken met het tegenhouden van een ontploffing door een metalen gaas (zoals bij de veiligheidslamp van Davy). Maar bij grotere gaten (met een middellijn bijv. van 1 cm) en ook indien ten gevolge van de explosie in de lamp de gebarsten buis meteen uiteenvalt, gaat de ontploffing wel naar buiten.

Een betere en afdoende methode om ontploffingen tegen te gaan is het ontsteken van de lamp met koude, d.i. niet voorverwarmde, kathoden. Dit is mogelijk als men de schakeling gebruikt die in *fig. 3* getekend is. De electroden worden nu niet van te voren door een kortsluitstroom verwarmd. Deze ontstekingsmethode wordt in andere gevallen gewoonlijk vermeden in verband met de bezwaren die er nog aan kleven. Het ligt namelijk voor de hand, dat voor de ontsteking, als de electroden niet voorverhit zijn en men geen andere maatregelen neemt, in het algemeen een hogere spanningsstoot nodig zal zijn. Daartoe zal men in sommige gevallen een speciale, snel verbrekende starter moeten toepassen. Gebruikt men lampen van klein vermogen (25 of 40 W), dan zal

[4]) Deze typen werden beschreven in het artikel: Th. Hehenkamp, Een snel werkende ontsteekschakelaar voor fluorescentielampen, Philips techn. T. **10**, 143-152, 1948 (No. 5).

[5]) De proeven zijn genomen met fluorescentielampen van speciale afmetingen, zo geconstrueerd dat deze in het onderzoekingsapparaat geplaatst konden worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

men echter in de regel met de normale starter kunnen volstaan.

Als een tweede bezwaar wordt meestal aangevoerd, dat bij deze ontstekingsmethode de electroden meer te lijden hebben, waardoor hun levensduur ongunstig wordt beïnvloed. Bij mijnverlichting is

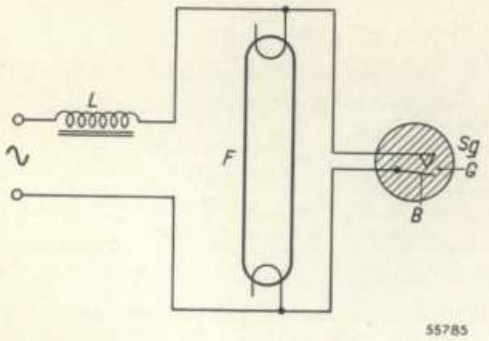


Fig. 3. Een schakeling van een starter voor een TL-lamp, waarbij het explosiegevaar bij gebruik in mijnen is opgeheven. De lamp wordt hier met koude kathoden ontstoken. Voor de betekenis der letters zie men het onderschrift van fig. 2.

dit echter niet van grote betekenis, omdat men hier te doen heeft met lange brandperioden en weinig in- en uitschakelen. De voordelen van de aangegeven ontstekingsmethode winnen het dan ook zeker van de nadelen.

We hebben een aantal proeven genomen met fluorescentielampen waarbij de schakeling van fig. 3 was toegepast. Experimenten met een gebroken of lekke TL-lamp met electroden zoals die van de TL-40 watt, waarbij onder deze omstandigheden geen ontsteking optrad, hebben geen aanleiding gegeven tot een explosie, hetgeen ook te verwachten was, aangezien de kathoden koud bleven. Maar een dergelijke lamp, die brandend met een toestel van Fripiat in een lucht-mijngas-mengsel werd stukgeslagen, gaf evenmin ontvlamming: de bedrijfstemperatuur van de electroden was niet hoog genoeg om na het doven van de ontlading het gasmengsel te ontsteken. Met de boven aangegeven schakeling moet een TL-lamp derhalve onder alle omstandigheden als veilig worden beschouwd.

We moeten er nog op letten, dat het startermechanisme op zichzelf niet vrij is van explosiegevaar. Een weerstand-bimetaal-starter bijv. zal, als de verwarmingsdraad in een ontvlambaar gasmengsel in werking zou zijn, zeker een ontploffing veroorzaken. Een electromagnetische starter welke normaal werkt en in aanraking komt met een lucht-mijngas-mengsel, gaf bij de proeven geen explosie die zich tot de omgeving uitbreidde. Indien echter de ontsteking (bijv. door een defect in de buis) niet tot stand kwam, zodat de starter abnormaal lang bleef werken, dan bestond er wel degelijk explosiegevaar. Ernstige moeilijkheden behoeft men echter van starters niet te verwachten, daar het altijd mogelijk is deze apparaatjes in metalen omhulsels te plaatsen. Dat zulk een omhulsel zou breken zonder het mechanisme van de starter onklaar te maken is uiterst onwaarschijnlijk.

Ten slotte vermelden we nog, dat de proeven uitgevoerd zijn met lucht-methaan-mengsels van verschillende samenstelling. We zijn daarbij uitgegaan van een natuurlijk mijngas met de samenstelling: ca 39% CH_4, 4% CO_2, 4% O_2, 9% H_2, ca 44% N_2 en 0,2% hogere koolwaterstoffen. Om een zeer explosief mengsel van dit gas met lucht te verkrijgen werd aan het mijngas eerst zoveel O_2 toegevoegd, dat de verhouding tussen zuurstof en stikstof dezelfde werd als in lucht, waarna het gasmengsel van deze samenstelling met lucht werd verdund tot een mengsel dat 7-8% CH_4 bevatte. Het is gebleken, dat mengsels van lucht met dit percentage methaan de gevaarlijkste zijn wat ontvlammingstemperatuur[6]), voortplantingssnelheid van de vlam en dergelijke betreft. Er zijn eveneens proeven gedaan waarbij het natuurlijke mijngas vervangen was door een technisch methaan, dat ook onverzadigde koolwaterstoffen bevatte. Deze bijmengsels verhogen de explosiviteit van de lucht-methaan-mengsels, doch door het toepassen van de ontsteking met koude kathoden ontstond ook hier nimmer een explosie.

[6]) Bij deze mengsels is de ontvlammingstemperatuur ongeveer 650 °C.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN DYNAMISCHE ELECTROMETER MET DIRECTE AANWIJZING

door J. van HENGEL en W. J. OOSTERKAMP. 621.317.723.082.742:621.386.82

Beschreven wordt een electrometer voor gelijkspanning met directe aanwijzing, volgens het dynamische principe, dwz. dat de gelijkspanning, met behulp van een condensator waarvan één plaat stilstaat en de andere plaat in trilling wordt gehouden, wordt omgezet in een wisselspanning. Deze wordt toegevoerd aan een versterker met normale buizen; de uitgangsspanning wordt gelijkgericht en de zo verkregen gelijkspanning gemeten met een draaispoelmeter. Om de versterking constant te houden, is een grote mate van tegenkoppeling toegepast en wel door de uitgangsgelijkspanning geheel of gedeeltelijk tegen de te meten spanning in te schakelen. Hierbij moet worden gebruik gemaakt van een bijzondere gelijkrichtschakeling, die gevoelig is voor de polariteit van de wisselspanning. Mede dank zij de gelijkspanningstegenkoppeling bereikt de (schijnbare) ingangsweerstand zeer hoge waarden (meer dan 10^{15} ohm). Er worden twee uitvoeringen besproken: een millivoltmeter (volle uitslag bij 100 mV) voor laboratoriummetingen, en een dosimeter voor röntgenstralen (in combinatie met een ionisatiekamer en een meetweerstand). De dosimeter heeft een in r/min geijkte schaal en beslaat een zeer groot meetgebied: van $4 \cdot 10^{-7}$ r/sec (fractie van de tolerantiedosis) tot 200 r/sec (contacttherapie). Voor de ijking is een stroomnormaal ontworpen, die een ijkstroom levert van 10^{-9} A.

Het meten van de spanning van gelijkspanningsbronnen die een hoge inwendige weerstand bezitten, is een taak waarvoor men zich ziet geplaatst bij vele onderzoekingen op het gebied der natuurkunde en der electrotechniek. Het komt er hierbij op aan dat de gebruikte spanningsmeter zo weinig mogelijk stroom opneemt, opdat het verschil tussen de EMK van de spanningsbron en de gemeten klemspanning zo klein mogelijk blijve.

Soms ook zal men zwakke gelijkstromen willen meten, door de spanning te bepalen die de stroom verwekt in een hoge weerstand waar hij door wordt geleid. Dit is een geval dat zich niet alleen voordoet bij onderzoekingen op de genoemde gebieden, maar ook, zoals aanstonds zal blijken, in de dagelijkse medische röntgentherapie. Ook in die gevallen is men aangewezen op een spanningsmeter met zeer hoge weerstand, daar de meter de meetweerstand overbrugt en dus een bovenste grens stelt aan de weerstand die door de parallelschakeling van beide wordt gevormd, hetgeen de gevoeligheid van de schakeling beperkt.

In de genoemde gevallen kan men vaak met voordeel gebruik maken van een electrometer. Dit is een instrument waarin de uitslag wordt veroorzaakt door de electrostatische werking van ladingen en dat dus in principe in het geheel geen stroom verbruikt (afgezien van de laadstroom die nodig is om het instrument een uitslag te geven, en van de lekstroom ten gevolge van de eindige isolatieweerstand).

Een bijzondere vorm van electrometer is een triode — of, meer algemeen, een electronenbuis met stuurrooster — die zodanig is ingesteld dat er geen roosterstroom loopt. Dit „geen" vatte men niet te streng op, daar er verscheidene oorzaken zijn waardoor in het algemeen de roosterstroom niet geheel nul is: onvolkomen isolatie tussen het rooster en andere electroden, ionenstroom naar het rooster, en thermische en foto-emissie door het rooster. Welke maatregelen in de speciale triode voor het gebruik als electrometer (type 4060) zijn genomen, werd vroeger reeds in dit tijdschrift beschreven [1]). In een groot gebied der instellingen laat zich bij deze triode de roosterstroom terugbrengen tot minder dan 10^{-14} A.

In het onderstaande beschrijven wij een electrometer waarvan het stroomverbruik bij volle uitslag nog een factor 10^2-10^3 maal zo klein is, zodat de inwendige weerstand van de bron der te meten spanning, resp. de weerstand waardoor de te meten stroom loopt, een overeenkomstige factor groter mag zijn. Bovendien heeft dit instrument de voordelen dat het — in tegenstelling tot sommige andere electrometers — direct aanwijzend is en dat er geen bijzondere buizen, doch slechts normale penthoden en gelijkrichtbuizen, voor nodig zijn.

Principe van de dynamische electrometer

Ons instrument is een verdere uitwerking van de door Dorsman beschreven dynamische electrometer [2]), waarvan het principe als volgt is. De te meten gelijkspanning wordt over een hoge weerstand toegevoerd aan een condensator waarvan

---

[1]) H. van Suchtelen, De electrometertriode en hare toepassingen, Philips techn. T. **5**, 59-64, 1940.

[2]) C. Dorsman, Een p_H-meter met zeer grote ingangsweerstand, Philips techn. T. **7**, 24-32, 1942. Zie ook: P. H. Clay, dissertatie, Amsterdam 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een der platen in trilling wordt gehouden (bijv. met behulp van een luidsprekersysteem — zie *fig. 1* — en een buisoscillator), zodat de capaciteit periodiek varieert. Evenals het geval is bij een condensatormicrofoon, ontstaat er aan de condensator een

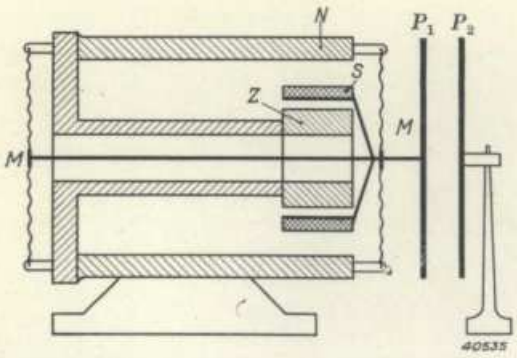


Fig. 1. Trilcondensator in doorsnede. N,Z = polen van een permanente magneet, S = spoel van het electrodynamische aandrijfsysteem, M = membraanveren, P_1 = trillende, P_2 = stilstaande condensatorplaat.

wisselspanning, die, bij gegeven trilamplitude, in grootte evenredig is met de aangelegde gelijkspanning. Deze wisselspanning wordt via een koppelcondensator (C_2, *fig. 2*) toegevoerd aan een wisselspanningsversterker, die is uitgerust met normale penthoden. De ingangsweerstand van de electrometer wordt voornamelijk bepaald door de isolatie van de koppelcondensator en van de trilcondensator. Met barnsteen, polystyrol en dergelijke stoffen als isolator (en eventueel, in de koppelcondensator, als diëlectricum) kan men beide condensatoren een veel hogere isolatieweerstand geven dan bereikbaar is met een electrometertriode.

De door Dorsman beschreven electrometer is ontworpen voor het meten van de potentiaal van een zg. glas-electrode, uit welke potentiaal de zuurgraad (p_H) van een oplossing kan worden afgeleid. Het meten geschiedt hierbij volgens een nulmethode: aan de ingang van de electrometer schakelt

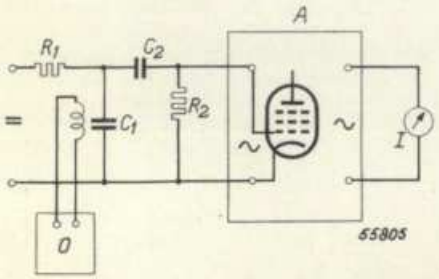


Fig. 2. Principeschema van de dynamische electrometer. C_1 = trilcondensator, waarvan de aandrijfspoel is aangesloten op een oscillator O; R_1 = hoge voorschakelweerstand, die bij het trillen ladingsveranderingen van C_1 tegengaat, C_2 = koppelcondensator, R_2 = roosterlekweerstand, A = wisselspanningsversterker, I = indicator.

men de te meten spanning tegen een bekende, van een compensator afkomstige spanning in, welke laatste men zodanig regelt dat de wisselspanning aan de uitgang van de versterker nul wordt; dit neemt men waar op een met de uitgang verbonden kathodestraal-indicator. Is de uitgangsspanning nul, dan heffen de beide ingangsgelijkspanningen elkaar op, zodat de spanning die men afleest uit de stand der regelknoppen van de compensator, gelijk is aan de te meten spanning.

De nulmethode is geschikt voor het nauwkeurig meten van zeer lage spanningen en heeft bovendien het voordeel dat veranderingen in de versterking of in de amplitude van de trilcondensator (als gevolg van bijv. netspanningsschommelingen) slechts invloed hebben op de scherpte van instellen, doch in eerste instantie niet op de uitkomst.

Voor vele toepassingen is echter boven zulk een inrichting met nulmethode een direct aanwijzend instrument te verkiezen, waarbij men niet voor iedere meting knoppen heeft te bedienen; men houdt dan de handen vrij en kan bovendien sneller werken. Het ligt dan ook voor de hand, op de uitgang van de electrometerversterker een meetinstrument aan te sluiten dat is voorzien van een schaal die is geijkt in de eenheid der te meten grootheid, bijv. mV.

De gunstige eigenschappen van de nulmethode willen wij natuurlijk zoveel mogelijk behouden. De versterker moet dan ook zo zijn geconstrueerd, dat zijn versterkingsfactor behoorlijk constant is, zowel bij schommelingen van de netspanning als bij variatie van de steilheid der buizen. De uitslag is hier namelijk recht evenredig met de versterkingsfactor — in tegenstelling tot het meetresultaat dat is verkregen met een nulmethode. De eis van constante versterking heeft vrij ingrijpende wijzigingen van de electrometerversterker voor p_H-meting nodig gemaakt voordat de constructie van een direct aanwijzend instrument mogelijk was.

Tot dusverre zijn volgens deze gedachtengang twee typen van direct aanwijzende dynamische electrometers in laboratorium-uitvoering uitgewerkt: het ene als mV-meter met zeer hoge weerstand en bestemd voor algemeen laboratoriumgebruik; het andere, voorzien van een schaal in röntgen per minuut, voor het meten van doseringssterkten van röntgenstralen (met behulp van een ionisatiekamer). De schakeling van de beide typen is in hoofdzaak dezelfde.

Gelijkspanningstegenkoppeling

De gewenste constantheid van de versterkingsfactor is bereikt door een ruime mate van tegen-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

koppeling [3]) toe te passen, dus door de uitgangsspanning E_2 (*fig. 3*) grotendeels of geheel naar de ingang terug te voeren en daar tegen de te meten spanning E_1 in te schakelen. De uitgangsspanning

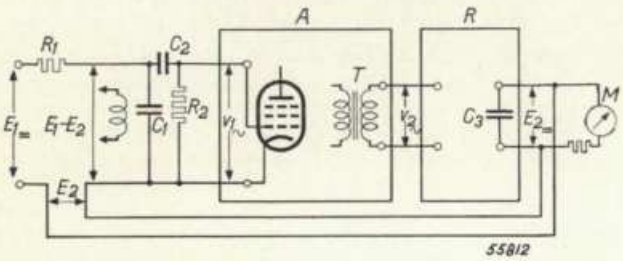


Fig. 3. Schema van de in onze electrometer toegepaste gelijkspanningstegenkoppeling. E_1 = te meten gelijkspanning; E_2 = uitgangsgelijkspanning; v_1, v_2 = ingangs-, resp. uitgangswisselspanning van de versterker A; T = transformator; R = gelijkrichter met afvlakcondensator C_3; M = draaispoel-voltmeter. Overige letters als in fig. 2.

moet derhalve een gelijkspanning zijn (die dus kan worden gemeten met een draaispoelmeter); zij wordt verkregen met behulp van een gelijkrichter, die op de uitgang van de versterker is aangesloten. De tegenkoppeling is dus een gelijkspanningstegenkoppeling.

Over de trilcondensator staat de gelijkspanning E_1—E_2. Door het trillen ontstaat een hiermee evenredige wisselspanning v_1:

$$v_1 = a_1 (E_1 - E_2),$$

die a_2-voudig wordt versterkt tot de uitgangswisselspanning v_2:

$$v_2 = a_2 v_1 = a_1 a_2 (E_1 - E_2).$$

De gelijkrichter vormt hieruit de met de amplitude van v_2 evenredige gelijkspanning E_2 (evenredigheidsfactor a_3):

$$E_2 = a_1 a_2 a_3 (E_1 - E_2).$$

Hieruit volgt voor de verhouding p tussen de uitgangsgelijkspanning E_2 en de te meten gelijkspanning E_1:

$$\frac{E_2}{E_1} = p = \frac{a_1 a_2 a_3}{1 + a_1 a_2 a_3} = \frac{A}{1 + A}, \quad \ldots \quad (1)$$

als $A = a_1 a_2 a_3$.

De factoren a_1, a_2 en a_3 zijn min of meer afhankelijk van de eigenschappen der oscillator-, versterk-, resp. gelijkrichtbuizen en van de voedingsspanningen (dus van de netspanning). Zorgt men er echter voor dat $a_1 a_2 a_3$ steeds groot ten opzichte van 1 is, dan is $p \approx 1$ en derhalve nagenoeg constant, ondanks fluctuaties in de waarde van a_1, a_2 en a_3. Nu zijn a_1 en a_3 beide kleiner dan 1, doch a_2 kan zo groot worden gemaakt dat inderdaad $A = a_1 a_2 a_3 \gg 1$. In beide uitvoeringsvormen van onze electrometer is aan deze voorwaarde voldaan.

Aan het opvoeren van A wordt een grens gesteld doordat bij grotere versterking de toestand labiel zou worden, dwz. de schakeling zou gaan oscilleren met een frequentie die afhangt van de tijdconstanten der in de schakeling voorkomende ketens. Naarmate de tijdconstanten groter zijn, kan de versterking verder worden opgevoerd, doch wordt ook de insteltijd van het instrument langer.

De toegepaste wijze van tegenkoppelen houdt in dat de gelijkspanning aan de trilcondensator niet E_1 bedraagt, doch slechts E_1—E_2, hetgeen bijv. 30 maal zo klein is als E_1. Dienovereenkomstig is ook de lekstroom die, bij gegeven isolatieweerstand, over de condensatoren C_1 en C_2 wegvloeit, verkleind. Mede hieraan is dan ook bij deze schakeling de bijzondere hoge (schijnbare) weerstand tussen de ingangsklemmen te danken.

Wat de wisselstroomverliezen in de weerstanden R_1 en R_2 (en de later nog te bespreken weerstand R_5) betreft, merken wij op dat deze worden geleverd door de oscillator die de trilcondensator aandrijft. Deze verliezen vormen dus geen belasting voor de bron van de te meten spanning.

Gelijkrichting

Als de gelijkrichter (R, fig. 3) op een der gebruikelijke wijzen was geschakeld, waarbij de verkregen gelijkspanning slechts afhangt van de grootte, doch niet van de polariteit, der toegevoerde wisselspanning, zou een labiele toestand intreden, zoals het volgende getallenvoorbeeld moge verduidelijken.

Stel $A = 30$; dus, volgens (1), $p = 30/31$. E_1 zij 100 mV, dus $E_2 = (30/31) \cdot 100 = 97$ mV. (De schaal van de draaispoelmeter waaraan E_2 wordt toegevoerd, is zodanig dat het instrument $E_2/p = E_1$, i.c. 100 mV, aanwijst.) E_1—$E_2 = 3$ mV.

Onderstel nu verder dat E_1 plotseling daalt tot 94 mV. Daar E_2 niet snel kan veranderen, wordt E_1—E_2 aanvankelijk —3 mV, waardoor v_1 en v_2 dezelfde amplitude houden, doch van polariteit wisselen, hetgeen neerkomt op een fasedraaiing van 180°. Een gewone gelijkrichtschakeling is hiervoor echter ongevoelig en handhaaft E_2 op 97 mV. De toestand is nu labiel: met een verdere daling van E_1 correspondeert een stijging van de absolute waarde van E_1—E_2, dus ook van de uitgangsspanning E_2. De tegenkoppeling is verkeerd in een „meekoppeling" (positieve terugkoppeling).

Niet alleen dit gedachtenexperiment, doch ook reeds ieder normaal inschakelen leidt tot labiliteit, aangezien E_2 zich oscillerend instelt, zodat er ogen-

[3]) B. D. H. Tellegen, Tegenkoppeling, Philips techn. T. 2, 289-294, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

blikken zullen voorkomen waarop E_1—E_2 negatief is en de wijzer over het eind van de schaal slaat.

Ter voorkoming van deze labiliteit is een gelijkrichtschakeling ontworpen waarin E_2, als v_2 180° in fase draait, de neiging krijgt te dalen en het juiste teken van E_1—E_2 te herstellen. Is E_2 aangeland op $p \times$ de nieuwe waarde E_1 — in het zojuist gegeven voorbeeld dus op $(30/31) \cdot 94 = 91$ mV —, dan treedt opnieuw evenwicht in, waarbij E_1—E_2 weer ongeveer de oude waarde heeft (+ 3 mV). De meter wijst bij deze lagere waarde van E_2 (91 mV) de juiste waarde van E_1 aan (94 mV).

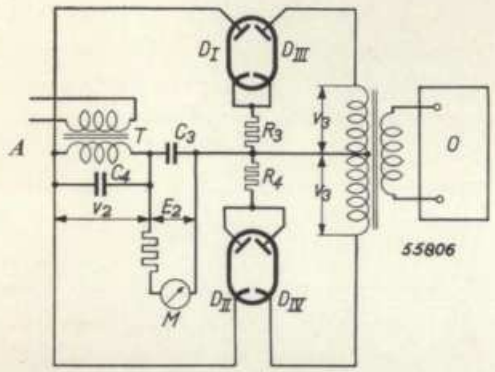


Fig. 4. Schema van de fasegevoelige gelijkrichter. T = uitgangstransformator van de versterker; C_4 = condensator waarmeee T is afgestemd; C_3 = afvlakcondensator; D_I-D_{III} en D_{II}-D_{IV} = dubbele dioden (EB4); O = oscillator, die ook de trilcondensator aandrijft.

Fig. 4 geeft de bedoelde gelijkrichtschakeling weer. De polariteit van v_2 wordt vergeleken met die van de wisselspanningen v_3, welke worden ontleend aan de oscillator die de trilcondensator aandrijft. Door bijzondere maatregelen (waarop wij nog terugkomen) is er voor gezorgd, dat het faseverschil tussen v_2 en v_3 slechts òf 0° òf 180° kan bedragen.

De werking van deze schakeling is als volgt.

De wisselspanningen v_3 doen telkens een halve periode lang [4]) stroom vloeien door de dioden D_{III} en D_{IV} en de weerstanden R_3 en R_4. Gedurende deze halve perioden heerst aan de genoemde weerstanden een spanning die, afgezien van spanningsverliezen, gelijk is aan v_3. De weerstanden zijn ook opgenomen in de ketens via welke de afvlakcondensator C_3, waarover de uitgangsspanning E_2 staat, uit de transformator T hetzij lading ontvangt (over de diode D_I), hetzij lading verliest (over de diode D_{II}). Verspringt de faseverschuiving tussen v_2 en v_3 met 180°, dan verandert — zoals hieronder nader wordt verklaard — de verhouding van de hoeveelheden lading die per periode aan C_3 worden toegevoerd, resp. onttrokken, waardoor E_2 zich in de gewenste richting gaat wijzigen.

Beschouwen wij eerst de toestand waarin de gelijkspanning over de trilcondensator de normale polariteit heeft (E_1—E_2 > 0). De schakeling moet zodanig zijn ingericht dat dan v_2 de polariteit heeft waarbij A + is ten opzichte van de met C_3 verbonden klem van T (fig. 4) gedurende de halve perioden waarin D_{III} en D_{IV} stroomloos zijn; ongehinderd door v_3, ontvangt de condensator C_3 binnen deze halve perioden lading over D_I (zolang $v_2 > E_2$) en staat hij lading af over D_{II} (zolang $v_2 < E_2$). Gedurende de andere halve perioden zijn de dioden D_{III} en D_{IV} geleidend, en heerst, zoals we zagen, aan elk der weerstanden R_3 en R_4 de spanning v_3. Deze spanning is zo hoog gekozen dat de dioden D_I en D_{II} er door geblokkeerd zijn; de spanning v_2 veroorzaakt dus geen stroom. Het resultaat is dat de spanning E_2 zich zo instelt dat de condensator C_3 per periode evenveel lading ontvangt (over D_I) als afstaat (over D_{II} en over de op C_3 aangesloten meter).

Beschouwen wij nu het geval E_1—E_2 < 0. Dan treedt de polariteit van v_2 waarbij A + is ten opzichte van de met C_3 verbonden klem van T, op gedurende de halve perioden waarin door D_{III} en D_{IV} wèl stroom loopt, en dientengevolge — evenals zojuist — D_I en D_{II} geblokkeerd zijn. Gedurende de andere halve perioden (D_{III} en D_{IV} stroomloos) kan aan C_3 geen lading over D_I toevloeien (v_2 heeft daarvoor de verkeerde polariteit), maar kan wel lading van C_3 over D_{II} afvloeien. Het beschouwde geval ($E_1 - E_2 < 0$) leidt dus tot daling van E_2, zoals gewenst was.

In deze schakeling kan men, door gebruik te maken van dubbele dioden (type EB4), zoals aangegeven in fig. 4, met twee buizen volstaan.

Een eventuele op v_2 gesuperponeerde spanning met een andere frequentie dan v_2 en v_3 draagt in het algemeen weinig of niet tot E_2 bij. Met andere woorden, de gelijkrichting is selectief, zodat een stoorspanning met bijv. de netfrequentie, of afkomstig van „microfonisch effect", van weinig invloed zal zijn. De selectiviteit wordt nog verhoogd door de transformator T (fig. 4) met een parallelcondensator (C_4) af te stemmen op de trilfrequentie (125 per/sec, midden tussen twee harmonischen van 50 per/sec in, — zo gekozen om van deze harmonischen geen last te hebben). Hoewel deze kring zoveel demping heeft dat de spanningswinst door opslingeren van weinig betekenis is, worden harmonischen van v_2 er op effectieve wijze door onderdrukt.

Versterker

Uit de gegeven verklaring van de werking der gelijkrichtschakeling zal duidelijk zijn dat veranderingen in de fasehoek tussen v_2 en v_3 van invloed zullen zijn op de grootte van E_2. Als men in de versterker kringen met weinig demping gebruikt die op de trilfrequentie zijn afgestemd — zoals het geval is in de voor p_H-metingen bestemde versterker; zie noot [2]) —, dan varieert de fase van v_2 reeds sterk

[4]) Gemakshalve spreken wij van „halve perioden", hoewel in werkelijkheid de duur der bedoelde intervallen iets van een halve periode afwijkt. Op deze finesse, die voor het betoog niet van belang is, gaan we hier niet in.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij kleine veranderingen van de trilfrequentie of bij een gering verlopen van de afstemming. Om de ongewenste invloed hiervan op E_2 te vermijden, hebben wij in de versterker voor onze electrometer geen afgestemde kringen toegepast (de zoëven genoemde kring T-C_4, fig. 4, is zo sterk gedempt dat hij de fasestabiliteit niet in gevaar brengt). Gebruikt wordt een weerstandsversterker (*fig. 5*) met twee trappen. De koppelcapaciteiten C_5 en C_6 zijn zodanig gekozen, dat zij, in combinatie met de weerstanden R_5, resp. R_6, een fasedraaiing bewerkstelligen die v_2 juist in fase brengt met de vergelijkingsspanning v_3 (fig. 4), hetgeen voor de gelijkrichting gewenst is.

De keten C_2-R_2-C_5-R_5 kan zo worden gedimensionneerd dat spanningen met de trilfrequentie weinig, doch stoorspanningen met de eerste of tweede harmonische van de netfrequentie veel worden verzwakt. Aldus wordt de selectiviteit die eigen is aan de gelijkrichter en de selectiviteit van de afgestemde kring T-C_4, nog ondersteund. Als illustratie van de sterke filterwerking die op deze wijze is bereikt, kan worden vermeld, dat een storende spanning van 200 mV effectieve waarde, 50 per/sec, gesuperponeerd op een ingangsgelijkspanning E_1 = 10 mV, de uitslag van de meter niet verandert.

Fig. 6 laat zien dat dank zij de besproken wijze van tegenkoppelen de invloed van de netspanning op de uitslag slechts zeer gering is: varieert men de netspanning van de nominale waarde (100%) tot 90% of 110%, dan verandert de uitslag daardoor hoogstens 0,5 schaaldeel.

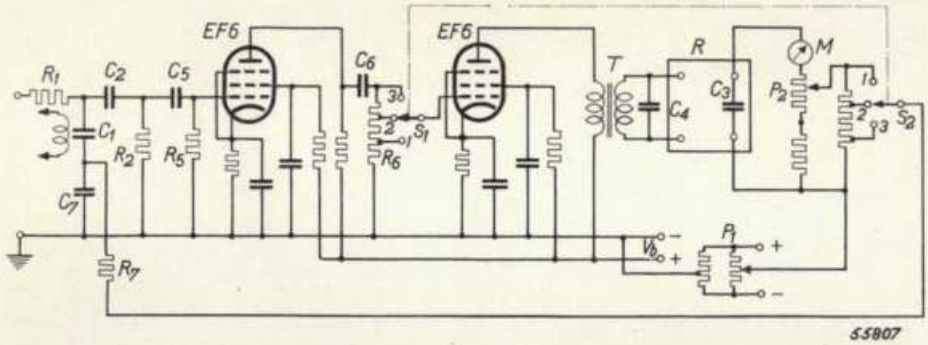


Fig. 5. Meer gedetailleerd schema van de direct aanwijzende electrometer (vgl. fig. 3). R_5, C_5 en R_6, C_6 = ketens waarmee v_2 in fase met v_3 wordt gebracht; R_7, C_7 = afvlakketen, waarover de uitgangsgelijkspanning (of een gedeelte er van) naar de ingang wordt teruggevoerd; S_1, S_2 = omschakelaars voor het veranderen van de gevoeligheid: in stand *1* volle uitslag bij 1000 mV ingangsspanning, in stand *2* bij 300 mV, in stand *3* bij 100 mV; P_1 = potentiometer voor nulpuntcorrectie; P_2 = potentiometer voor schaalcorrectie; V_b = voedingsspaninng. Overige letters als in fig. 2 en 3.

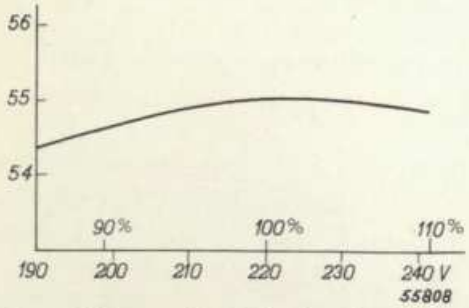


Fig. 6. Verandering van de uitslag (nominaal bijv. 55 schaaldelen) als functie van de netspanningsverandering. Schommelt de netspanning (nominaal 220 V) tussen 90% en 110%, dan verandert de uitslag daardoor minder dan 0,5 schaaldeel.

Verdere details van de electrometer

Als grootste gevoeligheid waarvoor de electrometer is ontworpen, kon met 100 mV voor de volle uitslag worden volstaan, overeenkomende met een nauwkeurigheid van ca 1 mV. Deze betrekkelijk geringe spanningsgevoeligheid komt ten goede aan de betrouwbaarheid van het instrument en heeft bovendien het voordeel dat in het algemeen statistische stroomfluctuaties nog geen last veroorzaken. De gelijkspanning over de trilcondensator bedraagt bij deze gevoeligheid en bij de volle uitslag ongeveer 3 mV.

In gevallen waar ook hogere spanningen dan 100 mV moeten kunnen worden gemeten, wordt een omschakeling toegepast; deze zullen wij straks bespreken.

Afgelezen wordt op een draaispoelmeter, die de volle uitslag geeft bij een stroom van 50 μA door de spoel.

Het op nul stellen geschiedt ten eerste, wat de meter zelf betreft, met de normale nul-instelling van de wijzer. Doch bovendien is er een electrische correctie: door middel van de potentiometer P_1 (fig. 5), aangesloten op een kleine hulpgelijkspanning

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

laten zich eventuele veranderingen in de contactpotentiaal aan de platen van de trilcondensator compenseren.

De ijking van de meter kan worden gecorrigeerd met behulp van de potentiometer P_2.

De weerstand tussen de ingangsklemmen van de electrometer bedraagt bij de uitgewerkte typen meer dan 10^{15} ohm, de ingangscapaciteit ca 40 pF.

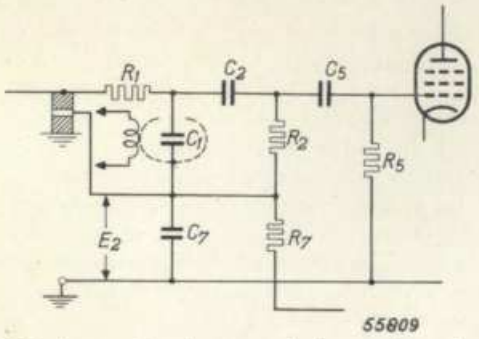


Fig. 7. Variant op het ingangsgedeelte van het schema fig. 5. In de isolator van de ingangsklem is een schermring aangebracht, die, evenals de afscherming van C_1, op de potentiaal E_2 is gebracht, zodat de isolatie hier slechts is belast met de spanning $E_1 - E_2$. De schijnbare ingangsweerstand wordt hierdoor veel hoger, de schijnbare ingangscapaciteit veel lager.

Nog gunstiger waarden laten zich bereiken met de in *fig. 7* afgebeelde (tot dusverre normaal niet toegepaste) variant op de schakeling van het ingangscircuit. Aan de isolatie van de niet-geaarde ingangsklem is een schermring aangebracht, die op de potentiaal E_2 is gebracht. Evenals wij reeds bij de condensatoren C_1 en C_2 zagen, is door deze maatregel de isolatie slechts belast met de spanning $E_1 - E_2 =$ ca $E_1/30$. Dientengevolge wordt de schijnbare ingangsweerstand belangrijk hoger, de schijnbare ingangscapaciteit vele malen kleiner.

Uitvoering als laboratorium-voltmeter

Fig. 8 is een afbeelding van de electrometer die volgens de besproken principes is ontwikkeld en die is bedoeld als laboratoriuminstrument voor

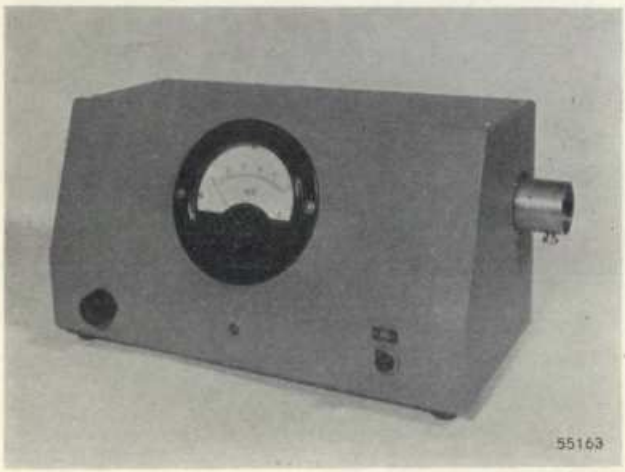


Fig. 8. Direct aanwijzende dynamische electrometer voor laboratoriumgebruik. Volle uitslag bij 100 mV ingangsspanning. Ingangsweerstand $> 10^{15}$ ohm, ingangscapaciteit ca 40 pF.

metingen waarbij een zeer hoge ingangsweerstand is vereist. De schakeling is weergegeven in fig. 5 (echter zonder de omschakelaars S_1 en S_2) en fig. 4. Na het voorafgaande behoeft dit instrument geen toelichting.

Uitvoering als dosimeter voor röntgenstraling

De dosis röntgen- of gammastraling wordt uitgedrukt in de eenheid röntgen (r), die berust op de ioniserende werking der stralen en die als volgt is gedefinieerd (Chicago 1937): een stralingsdosis bedraagt 1 r, als zij per 0,001293 gram lucht door corpusculaire emissie ionen vormt die, ongeacht het teken, een lading dragen ter grootte van 1 electrostatische eenheid ($= 3{,}33 \cdot 10^{-10}$ coulomb).

Een bekende methode om stralingsdoses te meten sluit direct bij deze definitie aan: een ionisatiekamer — d.i. een vat dat een gegeven hoeveelheid lucht (of een ander gas) en twee electroden bevat — wordt aan de stralen blootgesteld. Deze ioniseren het gas, dat daardoor enigszins geleidend wordt. Er gaat dus een stroom lopen tussen de electroden, waartussen een potentiaalverschil is aangelegd dat

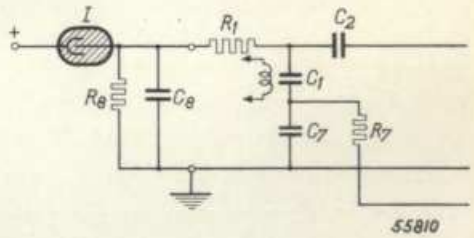


Fig. 9. Ingangscircuit van de electrometer, aangesloten op een ionisatiekamer I met meetweerstand R_8 en afvlakcondensator C_8, voor het meten van de doseringssterkte van röntgenstraling. Overige letters als in fig. 5.

groot genoeg is om de ionenstroom zijn verzadigingswaarde te doen bereiken, doch dat beneden de doorslagspanning blijft. Een stroomsterkte van $3{,}33 \cdot 10^{-10}$ A per cm³ lucht(van 1 atm druk en 0 °C) in de ionisatiekamer komt overeen met 1 r/sec ter plaatse van de ionisatiekamer.

Om de stroom te meten, sturen wij hem door een hoge weerstand (R_8, *fig. 9*) en meten de spanning aan deze weerstand. Een electrometer is hiervoor het aangewezen instrument, in het bijzonder de hier beschreven electrometer met zijn buitengewoon laag stroomverbruik.

Daar de röntgenbuis wordt gevoed met een min of meer pulserende gelijkspanning (soms zelfs met wisselspanning) bevat de straling, en dus ook de daardoor verwekte ionisatiestroom, een zekere „rimpel". Een condensator (C_8) parallel aan de meetweerstand houdt de rimpelspanning over deze weerstand voldoende klein.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Meetgebied

Het meetgebied waarvoor de te ontwerpen dosimeter geschikt moest zijn, is zeer uitgestrekt: enerzijds wilden wij de zeer grote doseringssterkten (doses per tijdseenheid) kunnen meten die voorkomen bij de contacttherapie [5]) (tot 200 r/sec), anderzijds ook fracties van de zeer veel kleinere doseringssterkten die overeenkomen met de hoeveelheid straling die de weefsels van het menselijk lichaam nog zonder schade kunnen verdragen (bijv. 0,2 r/dag, d.i. ca 10^{-5} r/sec) [6]). Deze grenzen liggen dus een factor 10^9 uiteen.

Gaan we eens na welke factoren in aanmerking komen om de gevoeligheid te veranderen.

1) Volume van de ionisatiekamer. De stroom die de ionisatiekamer levert, is ten naaste bij evenredig met haar volume. Beschikt men over een reeks ionisatiekamers van zeer verschillende grootte, dan bestrijkt men dus reeds een uitgebreid meetgebied. Natuurlijk kan men de afmetingen niet willekeurig kiezen, daar men rekening heeft te houden met de ruimtelijke verdeling van het stralingsveld waarin men wil meten.

Voor contacttherapie gebruiken wij een kamer van 25 mm³, voor dieptetherapie een van 6 cm³, en voor het meten van tolerantiedoses een van 35 cm³ of van 150 cm³.

2) Gasvulling. Gewoonlijk staat de ionisatiekamer in verbinding met de buitenlucht en is zij dus gevuld met lucht van atmosferische druk. Voor zeer nauwkeurige metingen moet men dan ook correcties voor temperatuur en barometerstand aanbrengen.

Besluit men tot het gebruik van een afgesmolten ionisatiekamer, dan kan men deze met een ander gas dan lucht en tot een andere druk dan 1 atm vullen. Wenst men een grote gevoeligheid, dan kiest men een gas met een hoog atoomnummer en niet te lage druk. De absorptie der röntgenstralen, en daardoor ook de in het gas veroorzaakte ionisatie, nemen namelijk sterk toe met het atoomnummer van het gas (althans indien de stralen niet zeer „hard" zijn). In krypton bijv. (atoomnummer 36) is de ionisatiestroom ca 100 maal zo groot als in lucht (atoomnummer stikstof 7, zuurstof 8). Een met krypton gevulde ionisatiekamer kan dan ook goede diensten bewijzen bij het meten van zeer kleine doseringssterkten. Men heeft dan echter het bezwaar dat de uitslag afhankelijk is van de hardheid der stralen, zodat voor iedere stralenkwaliteit een andere ijkconstante moet worden gebruikt.

3) Meetweerstand. Hoe hoger de meetweerstand is, des te groter is de gevoeligheid. Door ons gebruikte waarden van de meetweerstand liggen tussen 50 MΩ en 2000 MΩ. Gezien het feit, dat de weerstand tussen de ingangsklemmen van onze electrometer veel hoger is, kan zo nodig de meetweerstand nog worden vergroot; het is echter niet gemakkelijk zulke hoge weerstanden te maken die voldoende constant zijn.

Eventueel kan men de meetweerstand weglaten. De ionisatiestroom laadt dan de ingangscapaciteit van de electrometer. De afgelezen spanning volgt de oplopende ingangsspanning. Uit de grootte van de ingangscapaciteit en de met een stophorloge gemeten tijd waarin de afgelezen spanning een bepaald bedrag stijgt, kan men de ionisatiestroom berekenen. Bij deze methode kan met voordeel de schakeling volgens fig. 7 worden gebruikt.

4) Omschakeling in de electrometer zelf. Het meetgebied kan men uiteraard ook uitbreiden door de electrometer zelf verschillende gevoeligheden te geven. In ons instrument is dit verwezenlijkt op de in fig. 5 aangegeven wijze: de volle uitslag wordt verkregen met 1000, 300, resp. 100 mV ingangsspanning, al naar gelang de schakelaars S_1 en S_2 in de stand *1*, *2* of *3* staan.

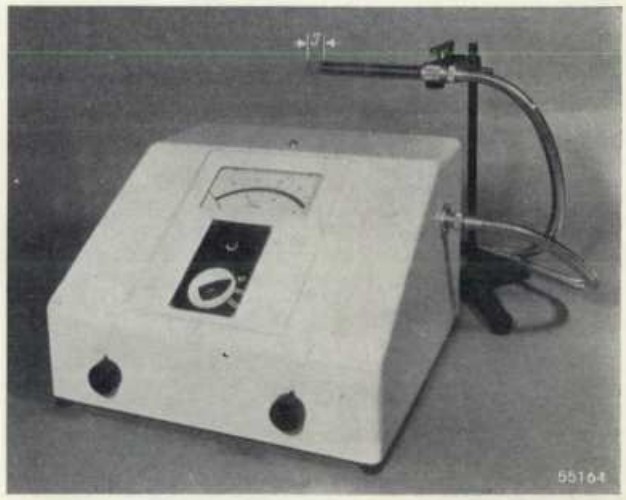


Fig. 10. Electrometer ingericht als dosimeter, met schaal in r/min. *I* = ionisatiekamer.

Uitgangspunt bij het ontwerpen van deze omschakelwijze was, dat aan de gevoeligheid van de draaispoelmeter niets wordt veranderd, dus dat, bij volle uitslag, E_2 in de drie standen dezelfde waarde heeft (i.c. ca 970 mV).

Zou men, om lagere gevoeligheid te krijgen, de draaispoelmeter shunten, dan was, voor volle uitslag, een hogere wisselspanning aan de ingang van de gelijkrichter nodig en ook een grotere amplitude van de hulpwisselspanning v_3 die de oscillator aan de gelijkrichter levert (fig. 4). Dit laatste zou tot een hoge belasting van de oscillator kunnen leiden; bovendien

[5]) Zie bijv. H. A. G. Hazeu, J. M. Ledeboer en J. H. van der Tuuk, Een röntgenapparaat voor contacttherapie, Philips techn. T. **8**, 8-15, 1946.

[6]) Het is gebruikelijk, deze tolerantiedoses per tijdseenheid uit te drukken in r/dag of in r/sec, de doseringssterkten voor de therapie daarentegen in r/min. Ter wille van de overzichtelijkheid spreken wij hier slechts van r/sec.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zou de belasting veranderen bij het overgaan op een andere gevoeligheid, wat niet aan de constantheid van de oscillatorfrequentie en -amplitude ten goede zou komen.

In de standen *2* en *3* (fig. 5), voor resp. max. 300 en 100 mV, wordt als tegenkoppelspanning slechts het door S_2 afgetakte gedeelte aE_2 van E_2 gebruikt, dat zo is gekozen dat aE_2 steeds ongeveer hetzelfde breukdeel p ($\approx$ 0,97) van E_1 is. Zoals uit *tabel I* blijkt, is dan in de standen *1* en *2* de gelijkspanning $E_1 - aE_2$ over de trilcondensator 10, resp. 3 maal zo groot als in stand *3*; de versterking kan dus 10, resp. 3 maal zo klein worden gemaakt. Dit geschiedt met de schakelaar S_1. De versterking kan hierbij geen waarden aannemen waarbij gevaar van oscilleren bestaat. Tabel I geeft een overzicht van de spanningen die bij volle uitslag optreden.

Tabel I. Gelijkspanningen bij volle uitslag, in de drie standen van de schakelaars S_1 en S_2 (fig. 5). E_1 = te meten spanning, E_2 = uitgangsspanning, aE_2 = tegenkoppelspanning, $E_1 - aE_2$ = gelijkspanning over de trilcondensator.

Stand		*1*	*2*	*3*	
E_1	=	1000	300	100	mV
E_2	$\approx$	970	970	970	mV
aE_2	$\approx$	970	291	97	mV
$E_1 - aE_2$	$\approx$	30	9	3	mV

Voor verschillende toepassingsgebieden van röntgenstralen geeft *tabel II* een overzicht van de sub 1), 2) en 3) besproken mogelijkheden die een gunstige combinatie vormen, waarbij E_1 max. 1000 of 100 mV bedraagt.

Stroomnormaal

Van dit hulpapparaat geeft *fig. 11* de schakeling. Gebruik wordt gemaakt van de bekende eigenschap van een penthode dat de anodestroom binnen wijde grenzen nagenoeg onafhankelijk is van de anodespanning. De anodestroom is echter veel te groot voor ons doel. Daarom wordt een capacitieve stroomdeler gebruikt, bestaande uit de condensatoren C_9 (5 µF) en C_{10} (50 pF), welke capaciteiten zich verhouden als 10^5 : 1. De anodestroom verdeelt zich in dezelfde verhouding. De kleinste der deelstromen doorloopt de meetweerstand R_8.

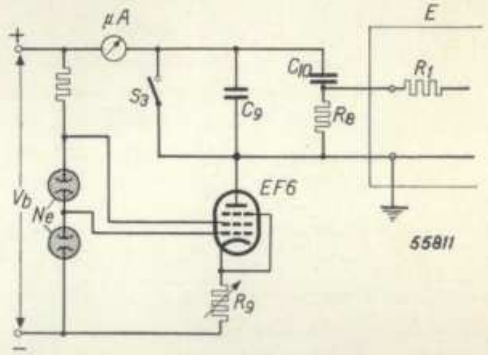


Fig. 11. Schema van een stroomnormaal, die 10^{-9} A levert, ter ijking van de dosimeter. V_b = voedingsspanning, Ne = neonbuizen voor het stabiliseren van de spanning, R_9 = regelbare kathodeweerstand, waarmee de anodestroom van de penthode wordt ingesteld op 100 µA; C_9-C_{10} = capacitieve stroomdeler 10^5 : 1 ; R_8 = meetweerstand; E = electrometer.

Tabel II. Overzicht van de doseringssterkten die voorkomen op verschillende gebieden der röntgentechniek, van de bij het meten hiervan door ons gebruikte ionisatiekamers en van de er bij optredende stromen en spanningen.

Gebied	Te meten doseringssterkte	Ionisatiekamer volume	Ionisatiekamer gas	Ionisatiestroom	Meetweerstand R_8	E_1	E_1/sec
	r/sec	cm³		A	MΩ	mV	mV/sec
Contacttherapie	0,5 - 250	0,025	lucht	$4\cdot10^{-12}$ - $2\cdot10^{-9}$	500-2000	8 - 1000	—
Dieptetherapie	0,1 - 5	6	lucht	$2\cdot10^{-10}$ - 10^{-8}	100	20 - 1000	—
Tolerantiedoses	$4\cdot10^{-7}$ - 10^{-5}	150	Kr *)	$2\cdot10^{-12}$ - $5\cdot10^{-11}$	2000	4 - 100	—
	10^{-6} - 10^{-5}	25	lucht	10^{-14} - 10^{-13}	∞ **)	—	0,6-6 **)

*) De gegevens in deze regel vermeld gelden voor ca 80 kV over de röntgenbuis.
**) Gemeten zonder meetweerstand en met de schakeling volgens fig. 7. Uit de snelheid waarmee E_1 oploopt en de grootte van de ingangscapaciteit kan men de ionisatiestroom berekenen.

Bij een bepaalde ionisatiekamer en een bepaalde meetweerstand kan de draaispoelmeter rechtstreeks worden geijkt in r/sec of r/min (*fig. 10*). De electrometer zelf is, zoals gezegd, ongevoelig voor netspanningsschommelingen en veranderingen in de steilheid der versterkbuizen, maar wel kan inconstantheid van de meetweerstand (R_8, fig. 9) fouten veroorzaken. Om het instrument, inclusief deze weerstand, te allen tijde te kunnen controleren, hebben wij een stroomnormaal geconstrueerd, d.i. een apparaat dat een zeer kleine, constante, bekende stroom levert, die, door de meetweerstand gestuurd, op de electrometer een bepaalde uitslag moet geven.

Voor de stroom i door R_8 en C_{10}, een tijd t na het inschakelen, berekent men:

$$i = \frac{C_{10}}{C_9 + C_{10}} I \left[1 - \exp\left(-\frac{C_9 + C_{10}}{C_9 C_{10} R_8} t\right)\right],$$

waarin I de anodestroom voorstelt. Als $C_9 \gg C_{10}$, kan men hiervoor schrijven:

$$i \approx \frac{C_{10}}{C_9} I \left(1 - \exp \frac{-t}{C_{10} R_8}\right).$$

Zelfs met R_8 = 2000 MΩ is de tijdconstante $C_{10}R_8$ nog pas 0,1 sec, zodat reeds zeer spoedig geldt:

$$i \approx \frac{C_{10}}{C_9} I.$$

De gang van de ijking is als volgt. Bij gesloten

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

schakelaar S_3 stelt men met behulp van een regelbare kathodeweerstand de anodestroom in op 100 μA. Opent men nu S_3, dan loopt er een stroom van $10^{-5} \times 100\ \mu A = 10^{-9}$ A door R_8, wat een bepaalde uitslag op de electrometer moet geven. Een eventuele afwijking van de juiste uitslag kan worden gecorrigeerd met de potentiometer P_2 (fig. 5). Na ca 15 sec zijn de condensatoren C_9 en C_{10} zo ver geladen dat de anodespanning daalt beneden de grens waarbij de anodestroom constant is; de stroom neemt dan snel af. De tijd van 15 sec is echter lang genoeg om de correctie te kunnen uitvoeren.

SECUNDAIRE EMISSIE IN EINDBUIZEN

door J. L. H. JONKER. 621.396.645:621.385.5:537.538.8

Secundaire electronenemissie is een vaak ongewenst verschijnsel, dat bijv. op de werking van tetrode-versterkbuizen een zeer ongunstige invloed kan hebben. Bekende middelen er tegen zijn: 1) concentratie van de ruimtelading tussen schermrooster en anode, 2) een derde rooster, op lage potentiaal, 3) bedekken van de anode met een laag die de electronen moeilijk kunnen verlaten. Besproken wordt waardoor de middelen (1) en (2), afzonderlijk aangewend, veelal niet tot het gewenste resultaat voeren, in het bijzonder bij eindbuizen. Gewoonlijk past men als eindbuizen dan ook penthoden toe waarin tevens van de hulp der ruimtelading wordt gebruik gemaakt. Eindbuizen die worden gevoed uit een anodebatterij, werken echter met een te kleine anodestroom om van de werking der ruimtelading te kunnen profiteren. Bovendien is de voedingsspanning laag, waardoor de secundaire electronen in verhouding minder uit langzame, „echte" secundaire electronen bestaan en meer uit snelle, gereflecteerde electronen. Deze laatste kunnen het remrooster gemakkelijk passeren. Het blijkt dat in zulke eindpenthoden aanwending van het middel (3) leidt tot aanzienlijk betere karakteristieken en groter afgegeven vermogen, bij gegeven vervorming. De nieuwe eindpenthode (DL 41) voor voeding uit een batterij, met geprepareerde anode, geeft bij bijv. 10% vervorming ca 260 mW af, tegen ca 200 mW voor de analoge buis met onbedekte anode.

Als electronen met een zekere snelheid de oppervlakte van een geleider of van een isolator treffen, wordt een gedeelte van hen gereflecteerd; het overige gedeelte dringt in de stof door en draagt zijn energie over aan daar aanwezige electronen. Van deze laatste kunnen dientengevolge sommige, bij gunstige bewegingsrichting, de beschoten oppervlakte verlaten. Dit is het bekende verschijnsel der secundaire emissie — waarbij men gewoonlijk denkt aan alle van de beschoten oppervlakte terugkerende electronen, geëmitteerde zowel als gereflecteerde —, waarover in dit tijdschrift reeds meermalen is geschreven [1]).

Kan in sommige gevallen van de secundaire emissie een nuttig gebruik worden gemaakt, in andere gevallen is het verschijnsel zeer ongewenst en moet men naar middelen zoeken om het zoveel mogelijk te onderdrukken.

Een bekend voorbeeld van een electronenbuis waarin secundaire emissie zeer schadelijk kan zijn, is de tetrode. De (primaire) electronen, die de openingen van het schermrooster zijn gepasseerd, kunnen de anode met aanzienlijke snelheid treffen en er secundaire electronen uit vrijmaken. Wordt de tetrode als versterkbuis gebruikt, dan is, ten gevolge van de impedantie in de anodeketen, aan de anode een wisselspanning aanwezig, gesuperponeerd op de anodegelijkspanning; de anodespanning kan daardoor tijdelijk lager zijn dan de constante schermroosterspanning. Is dit het geval, dan worden de secundaire electronen door het schermrooster aangetrokken, zodat zij de schermroosterstroom aanzienlijk vergroten, ten koste van de anodestroom i_a. In de karakteristieken die i_a als functie van de anodespanning v_a voorstellen, treden dan onregelmatigheden op in de vorm van maxima en minima (*fig. 1*), die tot vervorming aanleiding geven. De anodestroom kan nul worden, ja zelfs van teken omkeren.

Middelen om de secundaire emissie te onderdrukken werden reeds in dit tijdschrift besproken [2]); het zijn in hoofdzaak de volgende:

1) concentratie van ruimtelading tussen schermrooster en anode,
2) een derde rooster (op lage potentiaal),

[1]) Zie bijv.: H. Bruining, Secundaire electronenemissie, Philips techn. T. **3**, 80-87, 1938.

[2]) J. L. H. Jonker, Verschijnselen in versterkerlampen, veroorzaakt door secundaire emissie, Philips techn. T. **3**, 215-220, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

3) een op de anode aangebrachte laag die belemmert dat electronen de anode verlaten [3]).

Tot dusverre werd gewoonlijk in een bepaald buistype slechts één van deze middelen tegelijk aangewend, in sommige gevallen een combinatie van (1) en (2). In dit artikel willen wij laten zien, dat in een bepaald geval de combinatie (2)-(3), dus het gebruik van een derde rooster en tevens van een geprepareerde anode, een bijzonder gunstig effect kan hebben.

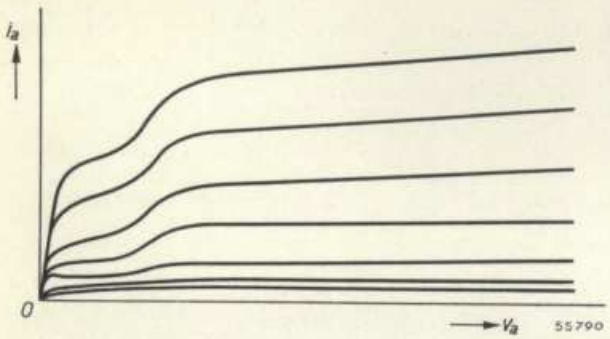


Fig. 1. Karakteristieken van een tetrode: anodestroom i_a als functie van de anodespanning v_a, bij één constante waarde van de schermroosterspanning en een reeks constante waarden van de stuurroosterspanning. Door secundaire electronenemissie ontstaan deuken in de karakteristieken, die vervorming veroorzaken.

Hieraan moge voorafgaan een korte beschouwing over de sub (1) en (2) genoemde middelen, waaruit zal blijken in welke omstandigheden zij tekortschieten.

Concentratie van ruimtelading

Brengt men tussen het schermrooster en de anode een potentiaalminimum teweeg, dan wordt hierdoor, bij voldoende diepte van het minimum, de secundaire emissie tegengegaan. Het potentiaalminimum kan men bijv. verkrijgen door tussen de genoemde electroden een concentratie van de ruimtelading te doen optreden, — een middel dat vaak in tetroden, en, naar wij zullen zien, ook wel in penthoden, wordt toegepast. Zulk een concentratie ontstaat bijv. door een bepaalde vormgeving en plaatsing der electroden, waardoor de electronen tot een of meer bundels worden verenigd.

Heeft men te doen met eindbuizen, waarin het er op aan komt de anodestroom en -spanning zo groot mogelijke amplituden te laten maken bij zo gering mogelijke vervorming, dan dient het potentiaalminimum werkzaam te zijn bij ver uiteenlopende ogenblikswaarden van de genoemde stroom en spanning. Ter toelichting hiervan zijn in *fig. 2* zowel de statische karakteristieken van een eindpenthode weergegeven ($i_a = f(v_a)$ voor één constante waarde van de schermroosterspanning V_{g2}

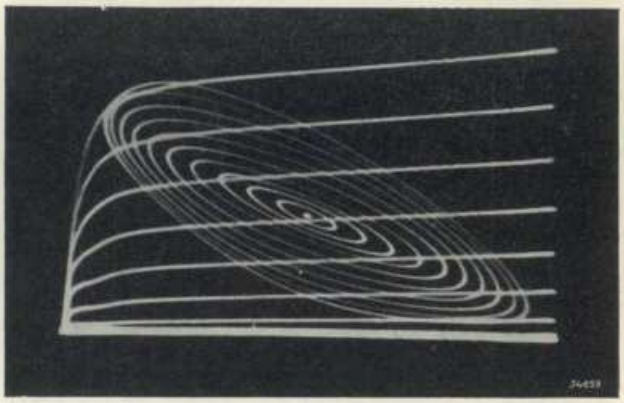


Fig. 2. Karakteristieken $i_a = f(v_a)$ van een penthode. De ellipsvormige krommen zijn de banen die het werkpunt beschrijft, indien in de anodekring als impedantie een luidspreker is opgenomen en aan het stuurrooster een sinusvormige wisselspanning wordt toegevoerd met stapsgewijs toenemende amplitude. Uit deze figuur blijkt dat bij een bepaalde waarde van v_a allerlei waarden van i_a optreden .

en een reeks constante waarden van de stuurroosterspanning V_{g1}) als een bundel werkkarakteristieken [4]). (Voor een tetrode geldt in wezen hetzelfde.) Bij deze laatste karakteristieken was in de anodeketen een luidspreker opgenomen en werd aan het stuurrooster een sinusvormige wisselspanning met stapsgewijs toenemende amplitude toegevoerd. Bij afwezigheid van vervorming zouden de werkkarakteristieken zuivere ellipsen zijn.

Men ziet, dat bij variërende amplitude van de roosterwisselspanning een groot gebied van het vlak der karakteristieken wordt doorlopen, en dat bij een zekere waarde der anodespanning allerlei waarden van de anodestroom mogelijk zijn. Om distorsie — voor zover afkomstig van secundaire emissie — te vermijden, moet in dit gehele gebied de secundaire emissie onderdrukt worden. Het zal blijken dat men, zonder tevens van andere middelen gebruik te maken, deze toestand moeilijk kan verwezenlijken.

Onderstellen we eerst dat de buis zo is geconstrueerd dat bij grote anodestroom een voldoend sterke ruimtelading optreedt om de secundaire emissie tegen te gaan; de potentiaal v in de ruimte tussen schermrooster en anode verloopt volgens een kromme als bijv. (*1*) in *fig. 3*. Bij dezelfde potentialen van schermrooster en anode, doch

[3]) Een analoog effect hebben loodrecht op het anode-oppervlak aangebrachte ribben of schotten, zoals vermeld in het artikel waarnaar noot [2]) verwijst. Hier laten wij dergelijke ribben buiten beschouwing.

[4]) Voor een methode volgens welke zulke karakteristieken kunnen worden opgenomen, zij verwezen naar: A. J. Heins van der Ven, Het onderzoek van eindversterkerbuizen met behulp van de kathodestraalbuis, Philips techn. T. **5**, 65-73, 1940.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kleine anodestromen, verdwijnt dan echter het minimum geheel (fig. 3, kromme 2). Had men het zo ingericht dat reeds bij kleine anodestromen het minimum in voldoende mate aanwezig is, dan zou het bij grote anodestromen te diep kunnen worden, zelfs ongeveer nul („virtuele kathode"). Een

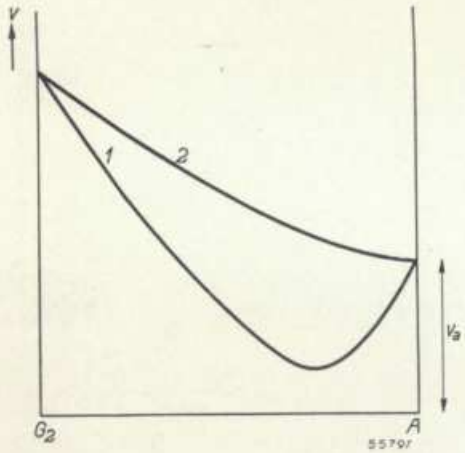


Fig. 3. Verloop van de potentiaal v tussen het schermrooster (G_2) en de anode (A) van een tetrode met geconcentreerde ruimtelading. Kromme (1) geldt voor een grote, kromme (2) voor een kleine waarde van de anodestroom. Bij (2) is het potentiaalminimum verdwenen.

gedeelte van de electronen kan dan de anode niet meer bereiken. Ook hierbij treedt grote vervorming op.

Deze toestand moet tot elke prijs worden vermeden. Bij eindtetroden behelpt men zich in de practijk meestal door schermen tussen het schermrooster en de anode aan te brengen, die met de kathode worden verbonden en die bij kleine anodestroom de overgang van secundaire electronen enigszins tegengaan. Deze schermen zijn op te vatten als een vereenvoudigde vorm van een remrooster, dat wij nu nader willen bezien.

Derde rooster

Secundaire emissie kan ook worden onderdrukt door in de tetrode een derde rooster aan te brengen (waardoor de buis een penthode wordt) en dit zg. rem- of vangrooster te verbinden met een punt waarvan de potentiaal in voldoende mate lager is dan die van de anode [5]).

Het remrooster moet bij voorkeur ijl zijn. Wij dienen dan ook onderscheid te maken tussen de (constante) spanning V_{g3} van de remroosterdraden en de potentiaal die in de mazen van het remrooster werkzaam is. De ogenblikswaarde van deze potentiaal hangt af van V_{g3}, van de anodespanning en van de schermroosterspanning, en mag met goede benadering worden vereenzelvigd met de effectieve potentiaal $v_{3\text{eff}}$ die men moet toekennen aan het vlak van het remrooster.

Bij een doelmatige constructie kan men bereiken, dat, met $V_{g3} = 0$, $v_{3\text{eff}}$ lager blijft dan v_a bij zeer uiteenlopende waarden van v_a (*fig. 4*, krommen *1* en *2*), en wel onafhankelijk van de anodestroom. In dit laatste feit is het grote voordeel gelegen van de penthode ten opzichte van de tetrode met geconcentreerde ruimtelading.

Daalt v_a tot zeer lage waarden, dan kan $v_{3\text{eff}}$, onder invloed van de schermroosterspanning, hoger blijven dan v_a (kromme *3* in fig. 4) en dus de secundaire electronen van de anode wegtrekken in plaats van ze naar de anode terug te sturen.

De potentiaal $v_{3\text{eff}}$ is, bij $V_{g3} = 0$, gegeven door

$$v_{3\text{eff}} = \frac{D_1 v_{2\text{eff}} + D_2 v_a}{1 + D_1 + D_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin $v_{2\text{eff}}$ = effectieve potentiaal in het vlak van het schermrooster (in de practijk bij benadering gelijk te stellen aan V_{g2}), D_1 = doorwerking van het schermrooster in het remrooster, en D_2 = doorwerking van de anode in het remrooster. Fig. 4 is getekend voor $D_1 = D_2 = 0{,}5$.

Uit (1) volgt voor het grensgeval $v_a = v_{3\text{eff}}$ waarin juist geen potentiaalminimum meer aanwezig is:

$$v_a \approx \frac{D_1}{1 + D_1} V_{g2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Om deze grenswaarde van v_a zo laag mogelijk te houden, moet men dus D_1 klein maken. Hiertoe zou men het remrooster uit dicht opeenliggende windingen kunnen vervaardigen, doch dan zouden deze het zich naar de anode begeven der electronen te veel hinderen, waardoor de schermroosterstroom sterk

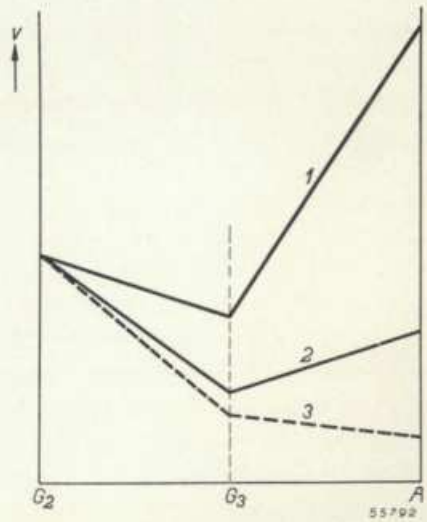


Fig. 4. Verloop van de potentiaal v tussen het schermrooster (G_2) en de anode (A) van een penthode, in een vlak dat midden tussen twee draden van het remrooster door gaat. G_3 = remrooster op potentiaal nul. Kromme (1) geldt voor een hoge, (2) voor een lage ogenblikswaarde van v_a; in beide gevallen is een potentiaaldal in de mazen van G_3 aanwezig. Niet meer het geval is dit bij kromme (3), die geldt voor een nog lagere waarde van v_a.

[5]) Zie bijv. Brits octrooi 287 958, prioriteit 1926 (G. Holst en B. D. H. Tellegen).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zou worden verhoogd ten koste van de anodestroom. Daarom past men liever een ijl remrooster toe en plaatst dit, om D_1 klein te houden, zo ver mogelijk van het schermrooster af [6]).

Om gedurende het optreden van zeer lage ogenblikswaarden der anodespanning althans bij grote anodestromen toch secundaire emissie te onderdrukken, roept men in moderne eindpenthoden bovendien een zekere concentratie van de ruimtelading tussen remrooster en anode te hulp, en wel door een geschikte keuze van de vorm, de grootte en de onderlinge afstanden der electroden. Onvoldoende is de onderdrukking dan nog alleen in het gebied waar tegelijk lage waarden van i_a en v_a optreden, doch dit valt, blijkens fig. 2, buiten het werkgebied van de buis.

Combinatie van remrooster met geprepareerde anode

Wij komen nu tot het derde middel waarmee men de secundaire emissie kan tegengaan: het bedekken van de anode met een laag die de electronen moeilijk verlaten. Daarbij kan men het zowel zoeken in de aard van de stof waaruit de laag bestaat, als in de vorm van deze stof, of in beide. Wat de aard betreft, ligt het voor de hand, een stof te kiezen met een lagere coëfficient δ van secundaire emissie dan de anode, die gewoonlijk uit nikkelplaat bestaat (onder δ verstaat men het aantal secundaire electronen dat gemiddeld per primair electron de beschoten electrode verlaat). Van nog meer belang dan de aard is de vorm van de stof: een vlokkige vorm is zeer gunstig, aangezien de secundaire electronen de talrijke holten in en tussen de vlokken niet gemakkelijk verlaten („labyrinth-werking"). Ter onderscheiding van de zoëven genoemde coëfficient δ, die betrekking heeft op een plat vlak van materialen in massieve toestand, spreken wij bij anders gevormde materialen van δ_{eff}. Met een nikkelen plaat die is bedekt met vlokkig roet bijv. kan men waarden van δ_{eff} bereiken die 3 tot 5 maal zo laag zijn als δ van zuiver nikkelplaat.

Past men dit middel toe in een goed geconstrueerde penthode, waarvan het remrooster zodanige dimensies heeft dat in de karakteristieken (*fig.* 5, kromme *1*) geen onregelmatigheden meer te bespeuren zijn die aan secundaire emissie moeten worden toegeschreven, dan blijkt het gebruik van een geprepareerde anode als boven genoemd toch verbetering te geven (fig. 5, kromme *2*): het vlakke gedeelte van de karakteristiek loopt meer horizontaal en de knie is verschoven naar grotere waarden van i_a en kleinere waarden van v_a. Dit betekent, dat men als werkkarakteristiek grotere ellipsen kan toelaten — dus dat de buis een groter vermogen kan afgeven —, voordat een bepaalde mate van vervorming optreedt.

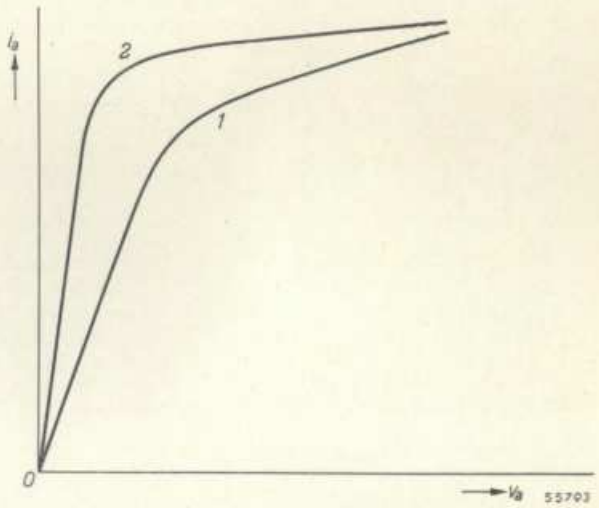


Fig. 5. Kromme (*1*) is de karakteristiek $i_a = f(v_a)$ van een normale penthode, kromme (*2*) die van een penthode waarbij op de anode een deklaag is aangebracht die een geringe secundaire emissie heeft.

Om dit enigszins onverwachte effect te verklaren, moeten wij iets nader ingaan op de eigenschappen van secundaire electronen.

Snelheidsverdeling van secundaire electronen

Beschiet men een geleider met electronen die een snelheid V_1 electronvolt bezitten, dan hebben de uittredende electronen allerlei snelheden V tussen 0 en V_1. *Fig. 6* toont voor nikkelplaat de kromme der snelheidsverdeling van deze electronen, voor $V_1 = 50$, 150 en 250 eV. Steeds blijkt een groot gedeelte der uittredende electronen een snelheid van omstreeks 5 eV te bezitten; dit zijn de „echte" secundaire electronen. Een tweede piek vertonen de krommen bij een snelheid die maar weinig lager is dan V_1; deze piek beantwoordt aan de gereflecteerde electronen, d.z. primaire projectielen die bij de botsing hun energie bijna geheel hebben behouden. (Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt, rekent men de gereflecteerde electronen gewoonlijk ook tot de secundaire electronen.) Het gedeelte der kromme tussen de beide pieken in vertegenwoordigt de electronen die bij de botsing een groter of kleiner gedeelte van hun energie hebben verloren.

Uit de figuur blijkt, dat bij kleinere snelheid V_1 der primaire electronen het aantal „echte" secundaire electronen naar verhouding afneemt en dat der gereflecteerde electronen stijgt.

In een tetrode of penthode kunnen vooral deze gereflecteerde electronen, wegens hun grote snelheid, gemakkelijk de afstotende werking van het poten-

[6]) Voor een uitvoeriger beschrijving van deze kwesties zie: J. L. H. Jonker, Pentode and tetrode output valves, Wir. Engr. **16**, 274-286 en 344-349, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tiaaldal tussen anode en schermrooster overwinnen en door dit rooster worden opgenomen. Dit geldt voor iedere waarde van v_a, zodat de gereflecteerde electronen — in tegenstelling tot de echte secundaire electronen — geen buigpunt in de karakteristieken

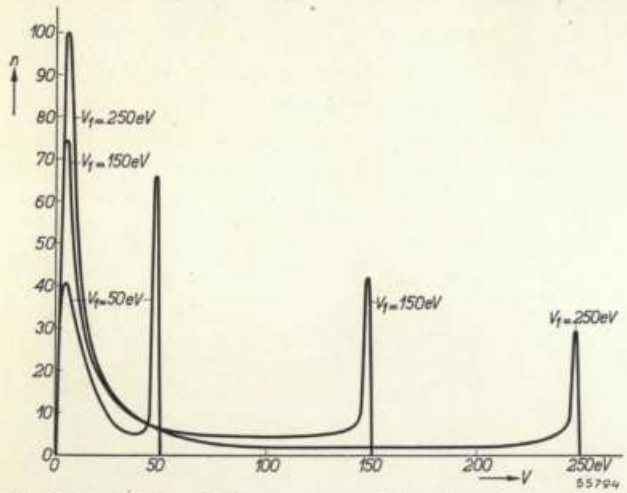


Fig. 6. Snelheidsverdeling van secundaire electronen, verkregen met op een nikkelen plaat vallende primaire electronen die een snelheid V_1 hebben van resp. 250, 150 en 50 eV. Als functie van de snelheid V is een grootheid n uitgezet, die evenredig is met het aantal secundaire electronen dat de snelheid V bezit; willekeurig is $n = 100$ gesteld voor de hoogste piek der drie krommen. — De pieken bij $V \approx 5$ eV beantwoorden aan de „echte" secundaire electronen, de pieken bij $V \approx V_1$ aan gereflecteerde electronen.

de karakteristiek bochten ontstaan, die vervorming veroorzaken als zij binnen het werkgebied vallen.

Voor nikkel dat met een poreuze laag roet is bedekt, gelden de krommen van *fig. 7*. Hieruit ziet men, dat de snelle electronen relatief sterk in aantal

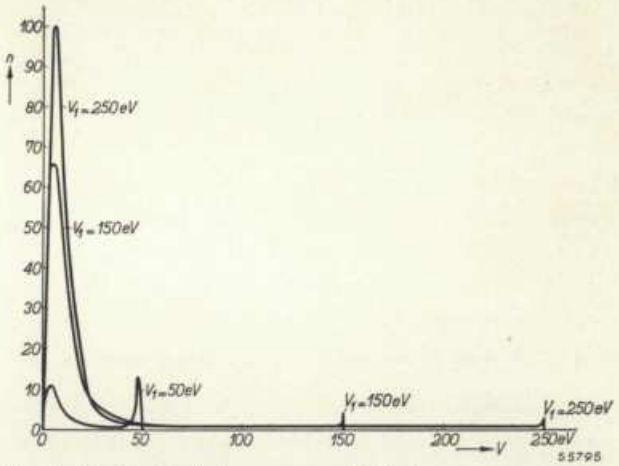
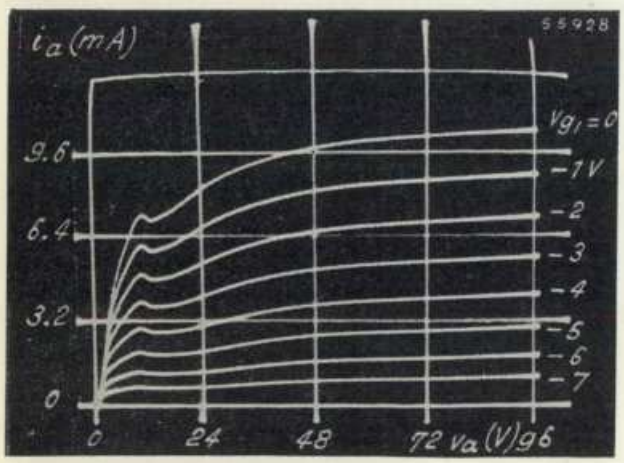


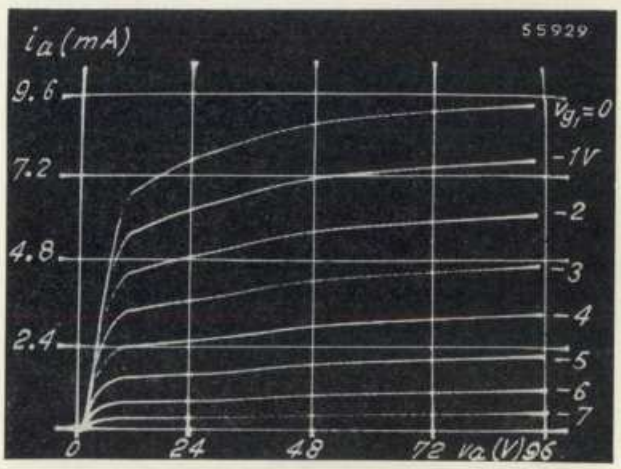
Fig. 7. Als fig. 6, doch nu voor nikkel dat met een poreuze laag roet is bedekt. De gereflecteerde electronen zijn in betekenis sterk verminderd. Om de ordinaten met die van fig. 6 te vergelijken, bedenke men dat het oppervlak tussen een kromme en de V-as een maat is voor de (effectieve) coëfficient van secundaire emissie. Voor $V_1 = 250$ eV is in fig. 6 $\delta = 1{,}2$, en in deze figuur $\delta_{\text{eff}} = 0{,}36$; hieruit volgt, dat ook de „echte" secundaire emissie is verminderd.

$i_a = f(v_a)$ kunnen doen ontstaan. Wel wordt, blijkens fig. 6, bij afnemende anodespanning het aantal gereflecteerde electronen groter, hetgeen betekent dat bij afnemende v_a de helling van de karakteristiek steeds groter wordt, zoals kromme *1* van fig. 5 aangeeft. Daalt v_a tot zo lage waarden dat $v_a \approx$ of $< v_{3\text{eff}}$, dan gaan ook de echte secundaire electronen naar het schermrooster en bewerken aldus een verdere daling van i_a. Hierbij kunnen in

zijn verminderd. Ook de echte secundaire emissie is afgenomen: is voor zuivere nikkelplaat $\delta = 1{,}2$, voor de met roet bedekte plaat is δ_{eff} slechts 0,36 (in beide gevallen bij $V_1 = 250$ V). Brengt men zulk een laag aan op de anode van een penthode, dan komt de daardoor bereikte vermindering van de secundaire emissie tot uiting in de reeds genoemde betere vorm van de karakteristiek $i_a = f(v_a)$ (kromme *2* in plaats van *1*, fig. 5).



a



b

Fig. 8. Karakteristieken $i_a = f(v_a)$ van twee soortgelijke penthoden, (*a*) met onbedekte, (*b*) met bedekte anode, bij $V_{g2} = 90$ V en $V_{g3} = 0$. Bij (*a*) treedt duidelijk secundaire emissie op, bij (*b*) niet. De aandacht zij gevestigd op de zeer lage waarde van v_a waarbij in geval (*b*) de bocht in de karakteristieken optreedt. Deze laatste serie karakteristieken geldt voor de nieuwe eindpenthode (DL 41), bestemd voor voeding uit batterijen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Eindpenthode voor voeding uit een batterij

De moeilijkheden die voortvloeien uit secundaire emissie, doen zich het sterkst voelen bij buizen die worden gevoed uit een anodebatterij. Hierbij toch is de voedingsspanning gewoonlijk vrij laag (45 tot 135 V), en, zoals wij uit fig. 6 zagen, zijn de snelle gereflecteerde electronen bij lage spanning het talrijkst. Bovendien is men, met het oog op de levensduur van de batterij, aangewezen op een lage gemiddelde anodestroom, zodat de extra-hulp door de werking van de ruimtelading grotendeels wegvalt. Het heeft dan ook zin, in het bijzonder voor eindbuizen die worden gevoed uit een anodebatterij, het aantal secundaire, en vooral gereflecteerde, electronen te verminderen. Het bedekken van de anode met poreus roet of een dergelijk materiaal, als boven besproken, is hiertoe het aangewezen middel.

Het effect hiervan is te zien in *fig. 8*. Bij (*a*) zijn de karakteristieken $i_a = f(v_a)$ weergegeven [7]) van een penthode met een normale, nikkelen anode, bij (*b*) de karakteristieken van dezelfde penthode, voorzien van een geprepareerde anode (DL 41). Vooral bij lage anodespanningen lopen de laatstgenoemde karakteristieken belangrijk gunstiger. Dit komt tot uiting in het maximale vermogen dat de buis DL 41 kan leveren bij een bepaalde mate van vervorming: het bedraagt, bij 10% vervorming, ca 260 mW, tegen ca 200 mW bij een soortgelijke buis zonder deklaag op de anode [8]).

[7]) Opgenomen met een kathodestraalbuis, vgl. noot [4]), doch met een verbeterde apparatuur, waarbij automatisch ook een coördinatennet wordt getekend.

[8]) Gemeten bij een batterijspanning van 120 V, $V_{g2} = 120$ V en een weerstand van 24 000 ohm in de anodeketen.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

1719b: E. J. W. Verwey en J. Th. G. Overbeek: Long distance forces acting between colloidal particles (Trans. Faraday Soc. **42B**, 117-123, 1946).

De schrijvers hebben de theorie van de krachten tussen de deeltjes in een colloïdale oplossing, waarin de deeltjes zijn omgeven door een electrische dubbellaag, uitvoerig onderzocht. Het artikel geeft een kort overzicht van deze onderzoekingen, voorafgegaan door critische beschouwingen over vroeger werk op dit gebied.

Voor uitvoerige informatie verwijzen wij naar No. **1769*** van deze overzichten.

1764: E. J. W. Verwey: De vrije energie van phasegrenzen (Kon. Vl. Acad. Wet. Lett. Sch. Kunsten; symposium Grenslaagverschijnselen, gehouden te Brussel, 5 en 6 Juli 1946, blz. 20-37, 1947).

De vrije energie van een grensvlak tussen twee phasen is in een aantal eenvoudige gevallen nader onderzocht. Aangetoond wordt dat op het kubusvlak van de meeste alkalihalogeniden de negatieve ionen naar buiten en de positieve naar binnen zijn verschoven. Deze deformaties veroorzaken een verlaging van de vrije energie van het oppervlak. De oppervlakte-energie van water kan in grote trekken worden begrepen door uit te gaan van de ijsachtige structuur en van de krachten tussen de watermoleculen. De invloed van opgeloste stoffen op de oppervlaktespanning van vloeistoffen wordt kwalitatief onderzocht en de beschouwingen worden uitgestrekt tot het aanrakingsvlak van twee vloeistoffen, dat de zetel kan zijn van een electrische dubbellaag.

1764a: J. Th. G. Overbeek: Wisselwerking van electrochemische dubbellagen. Stabiliteit van hydrophobe colloïden (Kon. Vl. Acad. Wet. Lett. Sch. Kunsten; symposium Grenslaagverschijnselen, gehouden te Brussel, 5 en 6 Juli 1946, blz. 130-156, 1947).

Beschouwingen over de structuur van de dubbellaag leiden tot een betrekking tussen de lading en de potentiaal van een oppervlak in contact met een oplossing van een electrolyt. Aangetoond wordt dat de oppervlaktelading vermindert door de onderlinge wisselwerking van twee dubbellagen met als gevolg afstoting. Behalve met deze afstoting moet men rekening houden met de aantrekkende London-van der Waals-krachten. Aantrekking en afstoting worden weergegeven in de vorm van potentiaalkrommen. Als de resulterende krommen een voldoend hoog maximum vertonen, is het bijbehorende

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sol stabiel. Belangrijke gevolgtrekkingen zijn: een bewijs van de geldigheid van de regel van Schulze en Hardy voor de voor uitvlokken benodigde electrolytconcentratie, een schatting van de grootte van de London-van der Waals-constante, een bewijs dat een colloïdale oplossing met zeer kleine deeltjes ($< 10^{-7}$ cm) instabiel is. Langzame uitvlokking van een hydrophoob sol is een zelf-remmend proces. De stabiliteit van grove suspensies bewijst dat de London-van der Waals-krachten sneller afvallen dan uit de gewone theorie volgt, hetgeen een gevolg is van retardatie. De lezer wordt verder verwezen naar No. **1769*** van deze overzichten.

1764b*: W. Ch. van Geel: Doorgang van electronen door grenslagen (sperlaaggelijkrichters en sperlaagfotocellen) (Kon. Vl. Acad. Wet. Lett. Sch. Kunsten; symposium Grenslaagverschijnselen, gehouden te Brussel, 5 en 6 Juli 1946, blz. 172-192, 1947).

Dit artikel houdt zich bezig met de doorgang van electronen door isolerende lagen. Deze doorgang hangt in hoofdzaak af van de aard der aangrenzende electroden. Behandeld worden: de doorgang van electronen door sperlagen, *a*) tussen twee metalen, *b*) tussen een metaal en een halfgeleider, *c*) tussen een metaal en een electrolyt en *d*) bij sperlaagfotocellen, waarin gebruik gemaakt wordt van een lichtgevoelige halfgeleidende laag. Verschillende theorieën, die berusten op tunneleffect, koude emissie en dubbellagen, worden behandeld en met het experiment vergeleken.

1777: F. A. Kröger, W. Hoogenstraaten, M. Bottema en Th. P. J. Botden: The influence of temperature quenching on the decay of fluorescence (Physica **14**, 81-96, 1948, No. 2/3).

De doving tengevolge van hoge temperatuur heeft een sterke invloed op de afneming van de fluorescentie met de tijd. Aangetoond wordt dat zowel deze afneming als het rendement bepaald worden door de waarschijnlijkheid van het fluorescentieproces enerzijds en van een stralingsloze overgang anderzijds. Door combinatie van gegevens betreffende rendement en lichtterugval is het mogelijk beide waarschijnlijkheden te scheiden en als functie van de temperatuur te bepalen. Met behulp van gegevens, verkregen bij $(NH_4)_3UO_2F_5$ en $Mg_2TiO_4.Mn^{4+}$, kan men nagaan of de stralingsloze overgang geschiedt volgens de theorieën van Mott en Seitz of volgens de theorie van Möglich en Rompe. Het eerste blijkt het meest voor de hand te liggen.

1778: B. D. H. Tellegen: Zijn er naast capaciteiten, weerstanden, zelfinducties en wederzijdse inducties nog andere, soortgelijke grootheden denkbaar? (T. Ned. Radiogen. **13**, 73-98, 1948, No. 3).

De inhoud van dit artikel stemt vrijwel overeen met die van Philips Res. Rep. **3**, 81-101, 1948, No. 2. Zie ook deze uittreksels **R 73**.

1779: C. Zwikker: Vectorial theory of gear wheel tooth profiles (Appl. sci. Res. **A 1**, 139-150, 1948, No. 2).

Het mechanische probleem van de bepaling van toelaatbare tandwielprofielen wordt behandeld met behulp van de geometrie van het complexe vlak. Deze methode is welbekend in de electrotechniek, maar kan gemakkelijk worden uitgebreid tot een complete behandeling van de meetkunde van vlakke krommen en worden toegepast op mechanische problemen.

1780: H. C. Hamaker: Current distribution in triodes neglecting space charge and initial velocities (Appl. sci. Res. **B 1**, 77-104, 1948, No. 2).

De theorie van de stroomverdeling in trioden met positief rooster wordt behandeld met verwaarlozing van de ruimtelading en van de beginsnelheden van primaire en secundaire electronen. Deze theorie, die oorspronkelijk afkomstig is van De Lussanet de la Sablonière, werd in een meer doorzichtige vorm gebracht en een grafische methode werd ontwikkeld om de toepasbaarheid van de theorie op een stel waarnemingen te onderzoeken. Uit de hierbij gebruikte grafieken kunnen de verschillende verdelingsfuncties, die in de vergelijkingen optreden, op eenvoudige wijze worden afgelezen. In sommige gevallen wordt een zeer goede overeenstemming tussen theorie en experiment gevonden. In andere gevallen treden afwijkingen op, die nader worden besproken. In verband hiermee worden de fundamentele onderstellingen, die aan de theorie ten grondslag liggen, aan critiek onderworpen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!